



**Escola Tècnica Superior d'Enginyeries  
Industrial i Aeronàutica de Terrassa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



Enginyeria Industrial

Josep Roma Pàmpols

**Estudi d'una xarxa de distribució d'aigua i modelat  
de les demandes per a la localització de fuites**

**Director:** Ramon Pérez Magrané, Gerard Sanz Estapé

**Convocatòria d'entrega:** Gener 2015

MEMÒRIA – ANNEXES – PRESSUPOST

# I. Índex de continguts

I. Índex de continguts .....	I
II. Índex de figures .....	V
III. Índex de taules .....	X
<b>MEMÒRIA.....</b>	<b>1</b>
<b>1 Introducció.....</b>	<b>2</b>
1.1 Abast.....	2
1.2 Estructura.....	2
1.3 Software utilitzat.....	3
1.3.1 Matlab .....	3
1.3.2 EPANET .....	4
1.3.3 EPANET Toolkit .....	4
1.3.4 Hydrosimulator .....	5
<b>2 Els models dels sistemes hidràulics .....</b>	<b>6</b>
2.1 Components físics.....	6
2.1.1 Nodes .....	6
2.1.2 Branques .....	7
2.2 Components no físics.....	8
2.2.1 Corbes .....	8
2.2.2 Patrons de temps.....	8
2.2.3 Controls .....	8
2.3 Models de simulació hidràulica.....	8
<b>3 Xarxa d'estudi.....</b>	<b>10</b>
3.1 Model hidràulic.....	11

---

<b>4</b>	<b>Tractament de les dades mesurades i model de demanda .....</b>	<b>15</b>
4.1	Generació de dades.....	15
4.2	Model de demanda .....	16
4.2.1	Càlcul demandes globals .....	16
4.2.2	Repartiment de la demanda als nodes .....	16
<b>5</b>	<b>Consums trimestrals.....</b>	<b>18</b>
5.1	Pla de Vinyats .....	18
5.2	Aigua Elevada .....	19
5.3	Sant Joan Nucli .....	20
5.4	Conclusions .....	20
<b>6</b>	<b>Model hidràulic inicial .....</b>	<b>21</b>
6.1	Dades inicials .....	21
6.2	Consums de cada sector a partir de les dades de contorn .....	21
6.2.1	Consums del nucli d'Aigua Elevada .....	21
6.2.2	Consums de nucli de Sant Joan.....	22
6.2.3	Consums del Polígon de Pla de Vinyats.....	22
6.3	Simulació .....	23
6.3.1	Demandes dels dipòsits .....	24
6.3.2	Cabals.....	25
6.3.3	Nivell dels dipòsits.....	27
6.3.4	Consums dels sectors.....	27
6.4	Conclusions .....	28
<b>7</b>	<b>Anàlisi Aigua Elevada .....</b>	<b>30</b>
7.1	Consums d'Aigua Elevada i cabals de les bombes de Costa-rodona .....	30
7.2	Corba de les bombes de Costa-rodona.....	33
<b>8</b>	<b>Anàlisi dipòsit de Costa-rodona i sector St. Joan.....</b>	<b>38</b>
<b>9</b>	<b>Consums dels sectors modificats .....</b>	<b>40</b>

---

<b>10</b>	<b>Model hidràulic modificat .....</b>	<b>44</b>
10.1	Simulació .....	46
10.1.1	Demanda dels dipòsits .....	46
10.1.2	Cabals .....	46
10.1.3	Nivell dels dipòsits .....	47
10.1.4	Consums dels sectors .....	48
10.2	Conclusions .....	49
<b>11</b>	<b>Calibratge de les demandes .....</b>	<b>51</b>
11.1	Optimització .....	51
11.1.1	Algorismes genètics .....	52
11.1.2	Funció objectiu .....	53
11.1.3	Simulació amb coeficients emissors .....	53
11.2	Resultats .....	54
11.3	Simulació amb els coeficients emissors òptims .....	55
11.4	Conclusions .....	59
<b>12</b>	<b>Conclusions de l'estudi .....</b>	<b>61</b>
<b>13</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>64</b>
	<b>PRESSUPOST .....</b>	<b>65</b>
	<b>ANNEXES .....</b>	<b>67</b>
<b>A1.</b>	<b>Comparativa entre Darcy-Weisbach i Hazen-Williams .....</b>	<b>68</b>
A1.1	Pèrdues de càrrega lineals .....	68
A1.2	Fórmula de Darcy-Weisbach .....	68
A1.3	Fórmula de Hazen-Williams .....	69
A1.4	Relació entre el factor de fricció de Darcy-Weisbach i la constant C de Hazen-Williams .....	70
A1.5	El cas de Sant Joan .....	73
<b>A2.</b>	<b>Dades dels cabalímetres i nivells de dipòsits .....</b>	<b>76</b>

---

A2.1	Dades cabalímetres.....	77
A2.2	Dades dipòsits.....	81

## II. Índex de figures

figura 1	Situació i distribució de nodes i connexions de la xarxa d'estudi.	10
figura 2	Representació d'Epanet de la xarxa hidràulica.....	12
figura 3	Esquema de la xarxa (no s'hi representa les vàlvules limitadores de cabal).....	14
figura 4	Consums trimestrals de Pla de Vinyats .....	18
figura 5	Consums trimestrals d'Aigua Elevada .....	19
figura 6	Consums trimestrals del sector de Sant Joan .....	20
figura 7	Càlcul de la demanda del nucli d'Aigua elevada .....	21
figura 8	Consums del nucli de Sant Joan i variables que intervenen en el seu càlcul .....	22
figura 9	Consum de Pla de Vinyats .....	23
figura 10	Consum de cada sector amb un mostreig cada 600 segons	24
figura 11	Demanda dels dipòsits .....	25
figura 12	Cabals sortida dipòsit St. Joan, cabal Pirelli, cabal St. Joan , cabal Mollet .....	26
figura 13	Cabal bomba de Costa-rodona .....	26
figura 14	Nivells dels dipòsits .....	27
figura 15	Consums dels sectors. El consum simulat i el consum real coincideixen. ....	28
figura 16	Nivell i demanda dipòsit Aigua Elevada i cabal bombes Costarodona .....	30

---

figura 17	Consum d'Aigua Elevada, demanda dipòsit Aigua Elevada i cabal bombes Costarrodona.....	31
figura 18	cabal de les bombes de Costa-rodona i consums al nucli d'Aigua Elevada corregits .....	32
figura 19	Consum Aigua Elevada. En blau consum corregit amb soroll, en roig consum corregit i filtrat (sense soroll).....	32
figura 20	Corbes en les bombes de Costa-rodona.....	33
figura 21	Punts de funcionament de els corbes i els valor màxims i mínims de cabal i altura segons les hipòtesis que realitza EPANET .....	34
figura 22	Simulació cabal bombes Costa-rodona i nivell del dipòsit d'Aigua Elevada .....	34
figura 23	Simulació cabal bombes Costa-rodona i nivell del dipòsit d'Aigua Elevada .....	35
figura 24	Resultat de la simulació cabal bombes Costa-rodona i nivell del dipòsit d'Aigua Elevada.....	36
figura 25	Resultat de la simulació cabal bombes Costarrodona i nivell del dipòsit d'Aigua Elevada.....	37
figura 26	Cabal bombes Costa-rodona, demanda Costa-rodona i consum de St. Joan .....	38
figura 27	Consums del nucli de Sant Joan i variables que intervenen en el seu càlcul .....	39
figura 28	Influència del paràmetre de suavitzat en el consum d'Aigua Elevada Nucli.....	41
figura 29	Influència del factor de suavitzat en el consum de St. Joan Nucli .....	41
figura 30	Influència del factor de suavitzat en el consum de Pla de Vinyats .....	42

---

figura 31	Consums dels sectors i consum total .....	42
figura 32	Pes de cada sector segons la demanda consumida respecte la total de la xarxa.....	43
figura 33	Modificacions en el model hidràulic i en les dades inicials ...	44
figura 34	Esquema de la xarxa, la vàlvula 9 parcialment tancada ( no s'hi representa les vàlvules limitadores de cabal) .....	45
figura 35	Demanda dels dipòsits .....	46
figura 36	Cabals sortida dipòsit St. Joan, cabal Pirelli, cabal St. Joan , cabal Mollet .....	47
figura 37	Cabal bomba de Costa-rodona .....	47
figura 38	Nivells dels dipòsits.....	48
figura 39	Consums dels sectors. El consum simulat i el consum real coincideixen.....	48
figura 40	Comparació dels nivells dels dipòsits entre les simulacions fetes amb la vàlvula 9 tancada i parcialment oberta. ....	49
figura 41	Cabal bombes Costa-rodona (sortida del dipòsit) i cabal d'entrada al dipòsit.....	50
figura 42	Esquema de com treballa el procés d'optimització.....	51
figura 43	Consums inicials, consums simulats, consums sense fuites, fuites repartides segons el pes de la demanda de cada sector. ....	56
figura 44	Demanda dels dipòsits .....	57
figura 45	Cabals sortida dipòsit St. Joan, cabal Pirelli, cabal St. Joan , cabal Mollet .....	57
figura 46	Cabal bomba de Costa-rodona .....	58
figura 47	Nivells dels dipòsits.....	58



---

figura 48	Consums dels sectors. El consum simulat i el consum real coincideixen. ....	59
figura 49	Comparació dels nivells dels dipòsits entre les simulacions fetes amb emissors i sense. ....	60
figura 50	Modificacions en el model hidràulic i en les dades inicials ...	61
figura 51	Cabalímetre del nucli de Sant Joan.....	76
figura 52	Cabal bombes de Costa-rodona (sortida del dipòsit) .....	78
figura 53	Cabal sortida dipòsit Mollet .....	78
figura 54	Cabal Lledoners .....	78
figura 55	Cabalímetre nucli St. Joan .....	79
figura 56	Cabal entrada dipòsit St. Joan .....	79
figura 57	Cabal sortida dipòsit St. Joan.....	79
figura 58	Cabalímetre Av.Pirelli.....	80
figura 59	Cabalímetre Pla de Vinyats.....	80
figura 60	Nivell dipòsit Costa-rodona .....	82
figura 61	Demanda dipòsit Costa-rodona.....	82
figura 62	Nivell Aigua Elevada .....	83
figura 63	Demanda dipòsit Aigua Elevada .....	83
figura 64	Nivell dipòsit St. Joan 1 .....	83
figura 65	Demanda dipòsit St. Joan 1 .....	84
figura 66	Nivell dipòsit St. Joan 2 .....	84
figura 67	Demanda dipòsit St. Joan 2 .....	84
figura 68	Nivell dipòsit Mollet.....	85

figura 69	Demanda dipòsit Mollet.....	85
-----------	-----------------------------	----

### III. Índex de taules

Taula 1:	Dades dels dipòsits de la xarxa.....	11
Taula 2:	Dades dels dipòsits del model d'Epanet.....	13
Taula 3:	Principals diferències entre algorismes genètics i algorismes clàssics (6) .....	52
Taula 4:	Coeficients emissors òptims.....	55
Taula 5:	Comparativa d'error mig als dipòsit depenen del estat de la vàlvula 9 .....	55
Taula 6:	Erros quadràtics dels dipòsits per diferents models de demandes .....	59
Taula 7:	Rugositats relatives .....	73
Taula 8:	Rugositats relatives .....	75
Taula 9:	Nombre de mesures en els cabalímetres.....	77
Taula 10:	Dades mensuals expressades en m <sup>3</sup> /dia dels cabalímetre mensuals .....	80
Taula 11:	Nombre de mesures en els dipòsits .....	81

# MEMÒRIA

---

# 1 Introducció

## 1.1 Abast

L'estudi consisteix en analitzar una xarxa de distribució d'aigua real mitjançant un software de simulació de xarxes de distribució a pressió (Epanet) i un entorn de desenvolupament integrat (Matlab).

A partir de les dades de contorn disponibles (cabalímetres, variacions de nivells dels dipòsits, facturació trimestral) cal calibrar el model de la xarxa a partir de l'observació entre les dades de contorn i les simulacions.

Cal modelar les demandes per estudiar la diferència, entre el model i les dades reals disponibles, associada a fuites d'aigua.

També cal analitzar la deriva observada en la demanda, el cabal i els nivells d'alguns dels dipòsits existents en la xarxa respecte els del model de simulació, ja que aquesta deriva pot provocar desajustos de pressió i cabal aigües avall.

## 1.2 Estructura

El document comença amb un capítol introductori al treball realitzat, explicant els objectius i el software utilitzat. El capítol 2 i 3 ens introdueixen als models hidràulic de simulació i a la xarxa d'estudi del projecte respectivament.

Previ a la realització de les simulacions s'explica el tractament de les dades, el model de la demanda (capítol 4) i es compara el consum de dades de la facturació amb el consum obtingut mitjançant les dades de contorn (cabals i nivells dels dipòsit, capítol 5)

En l'estudi es realitzen tres simulacions:

- Model hidràulic inicial (capítol 6)
- Model hidràulic modificat (capítol 10): inclou els canvis en el model hidràulic i les demandes explicat en els capítols previs (capítols 7, 8 i 9), amb l'objectiu de millorar els resultats obtinguts en la simulació anterior.
- Calibratge de demandes (capítol 11): s'utilitza un model de demandes que inclou emissors, és a dir, es simula que una part del consum del sector són fuites. El valor dels coeficients emissors s'obtenen mitjançant una optimització que minimitzi l'error dels nivells dels dipòsits.

Finalment hi ha dos annexes:

- Annex 1: es compara dos formules amb els que calcular les pèrdues en les canonades, amb les que s'explica la relació entre elles i quina és la millor opció.
- Annex 2: es comenten les dades del dia 3 de setembre de 2011, el dia que s'utilitza a les simulacions.

Entre la primera simulació i la segona simulació (capítol 6 i 10 respectivament) hi ha els capítols on s'expliquen els canvis en el model i en les dades.

En el CD adjunt, en la carpeta *Simulacions* si pot trobar els fitxers necessaris per poder obtenir les simulacions que s'han realitzat. L'estructura de la carpeta *simulacions* és el següent:

- Capítol 04 lectura\_dades: hi ha els fitxer necessaris per obtenir les dades.
  - *GeneracioTotesDades.m*: executar per llegir les dades dels fitxers Excels on estan guardades les mesures i fer el remostrejat. S'obté el fitxer *TotesDades.mat* on hi ha guardats els resultats de l'algorisme.
  - *AnalisisTots*: obre el fitxer *TotesDades.mat* i obté les dades dels consums i en selecciona les d'un dia concret (per defecte el 03/11/2011).
- Capítol 06 Simulació model hidràulic inicial: executar el fitxer *simulacio1.m* per obtenir els resultats de la simulació (es poden trobar en la carpeta *resultats simulació 1*)
- Capítol 10 Simulació model hidràulic modificat: executar el fitxer *simulacio2.m* per obtenir els resultats de la simulació (es poden trobar en la carpeta *resultats simulació 2*)
- Capítol 11 Calibratge demandes: executar el fitxer *simulacio3\_emitter.m* per obtenir els resultats de la simulació amb els coeficients emissors òptims (es poden trobar en la carpeta *resultats simulació 3*). Executar *optimitzacio.m* per realitzar l'optimització explicada en el capítol corresponent.
- EPA\_TOOLKIT: paquet d'eines que integra les funcions d'Epanet per poder realitzar simulacions i canviar paràmetres de la xarxa des de Matlab

## 1.3 Software utilitzat

### 1.3.1 Matlab

Matlab és una eina de software matemàtic que ofereix un entorn de desenvolupament integrat amb un llenguatge propi d'alt nivell. Matlab proporciona una sèrie de mètodes de càlcul numèric per analitzar dades, desenvolupar algorismes i crear models.

Les principals característiques que ofereix:

- Llenguatge d'alt nivell per al càlcul numèric, la visualització i el desenvolupament d'aplicacions.
- Funcions matemàtiques per àlgebra lineal, estadística, anàlisi de Fourier, filtrat, optimització, integració numèrica i resolució d'equacions diferencials ordinàries.
- Gràfics integrats per visualitzar dades i eines per crear gràfics personalitzats.
- Eines de desenvolupament per millorar la qualitat i el manteniment del codi.
- Eines per crear aplicacions amb interfícies gràfiques personalitzades
- Funcions per integrar algoritmes basats en Matlab amb aplicacions i llenguatges externs com C, Java, .Net i Microsoft Excel®.

### **1.3.2 EPANET**

Epanet és un software que realitza simulacions del comportament hidràulic i de la qualitat de l'aigua en xares de distribució pressuritzades. El programa ha estat desenvolupat pel National Risk Management Research Laboratory (1). La versió en espanyol ha estat realitzada pel Grup Multidisciplinari de Modelatge de Fluids (GMMF) de la Universitat Politècnica de Valencia (2).

Generalment, una xarxa de distribució consta de canonades, nodes, bombes, vàlvules i dipòsits. Epanet determina el cabal que circula per cada una de les conduccions i la pressió en cada node, així com els nivells d'aigua dels dipòsits i concentració de components químics en la xarxa durant un determinat període de temps.

Epanet ofereix un entorn de treball integrat per l'edició de les dades d'entrada de la xarxa, per al càlcul hidràulic i les simulacions de la qualitat de l'aigua, i per poder visualitzar els resultats obtinguts en una àmplia varietat de formats (plànols de la xarxa amb codis de colors, taules de dades, gràfiques amb evolucions temporals de diferents variables i plànols amb corbes d'isonivells).

### **1.3.3 EPANET Toolkit**

Epanet Toolkit és un paquet d'eines que permet integrar totes les funcions d'Epanet en altres programes amb l'objectiu de canviar paràmetres de la xarxa, realitzar simulacions i obtenir les dades resultants i poder realitzar el tractament corresponent (3).

EPANET Toolkit és una llibreria d'enllaç dinàmic (DLL, Dynamic link library) que permet als desenvolupadors personalitzar el motor de càlcul d'EPANET per a les seues pròpies necessitats específiques. Per treballar amb els models hidràulics

des de Matlab són necessaris fitxers que contenen informació sobre la xarxa d'estudi. Els fitxers necessaris els genera el propi Epanet:

- Fitxer .inp: és un fitxer de text que conté la informació de tots els elements la xarxa de distribució.
- Fitxer .map: és un fitxer de text que conté les coordenades de tots els components de la xarxa.
- Fitxer .net: conté la mateixa informació que el fitxer .inp però només es pot obrir des de l'entorn d'EPANET.
- Fitxer .txt: conté informació necessària per realitzar les simulacions.

L'ús de la Toolkit des de Matlab requereix una sèrie de funcions escrites amb codi Matlab que realitza les crides a les funcions de la Toolkit (que no està escrita amb codi Matlab) que són les que realment treballen amb els fitxers d'EPANET.

#### **1.3.4 Hydrosimulator**

HydroSimulator és un software desenvolupat pel grup d'investigació en Sistemes Avançats de Control (SAC) de la UPC que permet la simulació d'una xarxa de distribució d'aigua i l'obtenció de dades del model i els seus paràmetres (4) (5). Les eines que utilitza són Epanet i Matlab. La interacció entre els dos programes es realitza mitjançant Epanet Toolkit. Epanet permet la simulació de xarxes de distribució mentre que Matlab ofereix una gran potència de càlcul i versatilitat per al tractament de les dades i l'obtenció de resultats. El programa de simulació consta dels següents mòduls:

- Interfície gràfica principal: carpeta que conté les principals funcions del simulador. Obtenir dades i paràmetres del model i realitzar simulacions.
- Mòdul de control de pressió: mòdul que permet realitzar el control de la pressió monovariàble i multivariàble de la xarxa de distribució d'aigua.
- Mòdul de calibratge: permet el calibratge dels patrons de les demandes d'una xarxa de distribució d'aigua
- Dues xarxes de demostració
- Guia ràpida de referència del simulador i dels seus mòduls.
- Epanet Toolkit



## 2 Els models dels sistemes hidràulics

### 2.1 Components físics

Un sistema de distribució d'aigua consta de canonades, dipòsits, vàlvules, estacions de bombeig, consums, etc. que es modelen com un conjunt de branques connectades a nusos. Les branques poden ser canonades, vàlvules o bombes i els nodes representen connexions, tancs i dipòsits (1).

#### 2.1.1 Nodes

Són punts de la xarxa on s'uneixen dues o més branques o per on entra o surt aigua.

Les dades d'entrada necessàries per als nodes són la cota, la demanda d'aigua i la qualitat inicial de l'aigua. Els resultats que s'obtenen dels nodes són l'altura piezomètrica (energia per unitat de massa del fluid), la pressió i la qualitat de l'aigua.

La demanda dels nodes pot ser positiva o negativa. Si és positiva significa que consumeix aigua i si és negativa que subministra aigua a la xarxa.

##### 2.1.1.1 Embassaments

Un embassament és un node que representa una font d'aigua externa infinita per al sistema. S'utilitza per modelar llacs, rius y connexions d'altres sistemes. Actua com a punt de frontera de la xarxa per la qual cosa la seua altura i qualitat de l'aigua no es veuen afectats per lo que passi a la resta del sistema.

Les característiques principals d'un embassament són l'altura piezomètrica i la qualitat inicial de l'aigua.

##### 2.1.1.2 Dipòsits

Els dipòsits són nodes amb capacitat d'emmagatzematge, on el volum de l'aigua emmagatzemat varia amb el temps. La informació necessària per definir els dipòsits és la cota, el diàmetre, valors inicials, màxims i mínims del nivell de l'aigua i la qualitat inicial de l'aigua. La informació que n'extraïem és el nivell de la superfície de l'aigua, la demanda del dipòsit i la qualitat de l'aigua. La demanda dels dipòsits indica el cabal d'aigua que entra o surt del dipòsit i és la diferencia entre el cabal que entra al dipòsit i el que surt. Si la demanda és positiva significa que el dipòsit s'omple i si és negativa es buida.

EPANET tanca l'aportació de cabal si el nivell del dipòsit està al mínim i deté el consum de cabal si el nivell està al màxim.

#### **2.1.1.3 Emissors**

Els emissors són una característica pròpia de les connexions i s'utilitzen per modelar-ne la descarrega de cabal a l'atmosfera a través d'uns orificis. El cabal varia en funció de la pressió del node:

$$q = C p^\nu \quad (2.1)$$

On  $q$  és el cabal,  $p$  la pressió,  $C$  el coeficient emissor i  $\nu$  l'exponent de la pressió. Amb els emissors es poden modelar les pèrdues en les connexions.

#### **2.1.2 Branques**

Les branques transporten aigua d'un punt a un altre. La direcció de l'aigua va del punt de la xarxa amb major altura piezomètrica a l'extrem amb menor altura. Els models pressuritzats consideren que totes les canonades es troben plenes en tot instant. Els paràmetres que defineixen una canonada són: nodes d'entrada i sortida, diàmetre, longitud, coeficient de rugositat, estat (oberta, tancada o amb vàlvula de retenció). La informació que obtenim de les canonades és el cabal, la velocitat del fluid, les pèrdues i el factor de fricció de Darcy-Weisbach.

A les canonades també es pot assignar un coeficient de pèrdues menors per tal de tenir en compte altres elements que depenen de la distribució en planta de la xarxa, com colzes, vàlvules, etc.

##### **2.1.2.1 Bombes**

Les bombes són elements que aporten energia al fluid incrementant l'altura piezomètrica. Les característiques principals són l'entrada i la sortida i la corba característica de la bomba.

##### **2.1.2.2 Vàlvules**

Són elements que permeten limitar la pressió i el cabal en punts específics de la xarxa. Els paràmetres principals són: el nus d'entrada i de sortida, el diàmetre, la consigna i l'estat. Els valors de sortida són el cabal i les pèrdues.

Existeixen diversos tipus de vàlvules, les que apareixen en la nostra xarxa són:

- Vàlvules reguladores per estrangulació: simulen una vàlvula oberta, tancada o parcialment tancada depenent del valor del coeficient de pèrdues menors.
- Vàlvules reductores de pressió: limiten la pressió en un punt de la xarxa.
- Vàlvules limitadores de cabal: limiten el cabal a un valor específic.

## 2.2 Components no físics

És tracta d'informació que descriu el comportament i els aspectes operacionals del sistema de distribució (1).

### 2.2.1 Corbes

Representen la relació entre dues magnituds. Epanet treballa amb quatre tipus de corbes:

- Corba característica de la bomba: les corbes de les bombes es poden definir amb un conjunt de punts que descriguin la seua característica cabal-alta, o amb un sol punt de funcionament. Si es fa amb l'últim mètode Epanet considera que l'altura màxima (quan el cabal és nul) és un 33% més gran que la nominal i cabal màxim (quan l'altura és nul·la) el doble que el nominal.
- Corba de rendiment: determina com varia el rendiment de la bomba en funció del cabal. S'utilitza únicament per a càlculs energètics.
- Corba de volum: descriu com el volum d'aigua varia segons el nivell. Les corbes de volum són importants en el cas que hi hagi dipòsits en que la secció transversal varia amb l'altura.
- Corba de pèrdues: per modelar branques amb una relació cabal-pèrdues que no abasten les formules hidràuliques estàndard s'utilitza una vàlvula de propòsits general (en la xarxa d'estudi no n'hi ha cap). Aquesta relació cabal-pèrdues el descriu la corba de pèrdues. S'utilitzen per modelar turbines, pous d'aspiració o vàlvules per reduir el cabal i controlar el flux invers.

### 2.2.2 Patrons de temps

Els patrons de temps són una col·lecció de factors que s'apliquen en cas de voler representar una magnitud que varia en el temps. Poden tenir patrons de temps associats les demandes dels nodes, les altures dels dipòsits, els programes de les bombes i fonts de qualitat de l'aigua.

### 2.2.3 Controls

Els controls són consignes que determinen com treballa el sistema al llarg del temps. Especifiquen el comportament de les línies seleccionades com una funció del temps, nivells d'aigua del tanc i pressions en punts determinats del sistema.

## 2.3 Models de simulació hidràulica

Els models de simulació hidràulica s'encarreguen de calcular altures en les connexions i caudals a les branques per un conjunt fix de nivells de dipòsits,

embassaments i demandes d'aigua durant una successió d'instantos temporals. Des d'un instant de temps els següents nivells de dipòsits i demandes en les connexions són actualitzades d'acord als patrons de temps que se'ls ha associat mentre que els nivells del tancs són actualitzats amb les dades de la solució de cabal.

La solució d'altura i cabal en un determinat punt al llarg del temps suposa el càlcul simultani de la conservació de cabal en cada connexió i la relació de pèrdues que suposa en seu pas a través dels elements de tot el sistema. Aquest procés es conegut com equilibrat hidràulic de la xarxa i requereix mètodes iteratius de resolució d'equacions no lineals.

Les simulacions poden ser:

- Simulacions en règim permanent: simulació amb demandes que no varien en el temps.
- Simulacions en període estès: quant la demanda dels nodes té una corba que varia de forma periòdica durant el dia. L'interval de temps utilitzat en la simulació de període estès el defineix l'usuari, però es poden donar intervals de càlcul inferior al normal si passa algun dels següents successos:
  - Quan succeeix el següent període d'obtenció de resultats
  - Quan succeeix el següent període del patró de temps
  - Quan es produeix el buidat o l'omplerta d'un tanc
  - Quant s'activa algun control que actuï sobre algun element de la xarxa.

### 3 Xarxa d'estudi

La xarxa d'estudi esta localitzada al poble de Sant Joan de Vilatorrada. El model hidràulic i totes les dades dels cabalímetres i dels dipòsits ha estat proporcionant per Aigües de Manresa. En la figura següent es mostra la distribució de nodes i connexions.

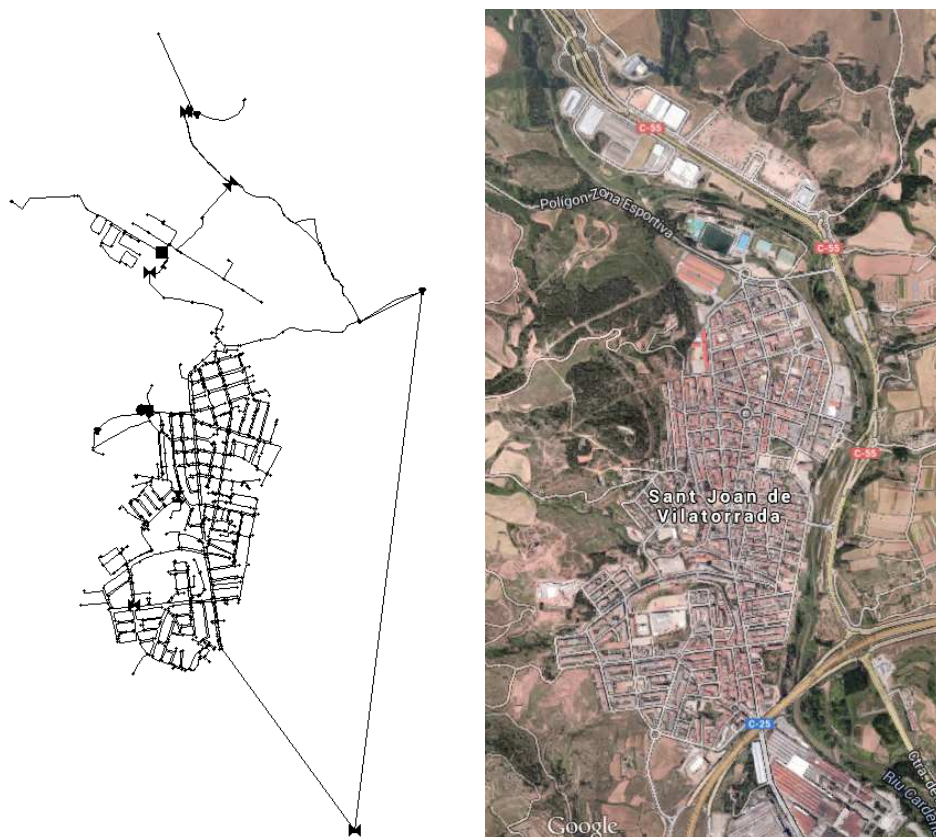


figura 1 Situació i distribució de nodes i connexions de la xarxa d'estudi

Està dividida en tres sector hidromètrics o DMA (District Meter Area): Sant Joan, Aigua Elevada i Pla de Vinyats, per poder avaluar el cabal circulant cap a cada un d'ells. La xarxa d'estudi es compon dels següents elements:

- 6 cabalímetres automàtics i 2 cabalímetre manuals.
- 3 bombes: dues en paral·lel a la sortida del dipòsit de Costa-rodona i una a la sortida del dipòsit de Mollet. No es coneixen lleis de control de les bombes pel que es suposa que tenen dos estats: apagades i enceses.
- Sis dipòsits: els dos dipòsits de Costa-rodona, els dos dipòsits de Sant Joan, el dipòsit de Mollet i el dipòsit d'Aigua Elevada amb les següents característiques:

dipòsit	volum real (m3)	cota solera (m)	cota mínima l'aigua (m)	alçada real (m)	cota màxima d'aigua (m)	Tipus planta	dimensió planta (m)
Sant Joan 1	1.354	270,0	270,1	3,19	273,29	quadrat	20,6 x 20,6
Sant Joan 2	1.354	270,0	270,1	3,19	273,29	quadrat	20,6 x 20,6
Costarrodona 1	511	265,59	265,59	3,18	268,77	rectangular	16,9 x 9,5
Costarrodona 2	511	265,59	265,59	3,18	268,77	rectangular	16,9 x 9,5
Dipòsit Aigua Elevada	149	317,48	318,23	5,6	323,83	circular	5,83 Ø
Dipòsit Mollet	319	250,32	251,07	2,35	253,42	circular	13,15 Ø

Taula 1: Dades dels dipòsits de la xarxa

- 5 vàlvules reguladores per estrangulació, que permeten unir canonades i sectors per donar una entrada d'aigua alternativa al punt principal d'alimentació.
- 2 vàlvules de reductores de pressió en paral·lel situades al polígon de Pla de Vinyats.

### 3.1 Model hidràulic

Per poder simular una xarxa hidràulica cal realitzar algunes modificacions com s'indica a continuació. Cal assegurar una font d'aigua externa infinita que actua com a punt de frontera de la xarxa i que cap node o conjunt de nodes quedi sense alimentació.

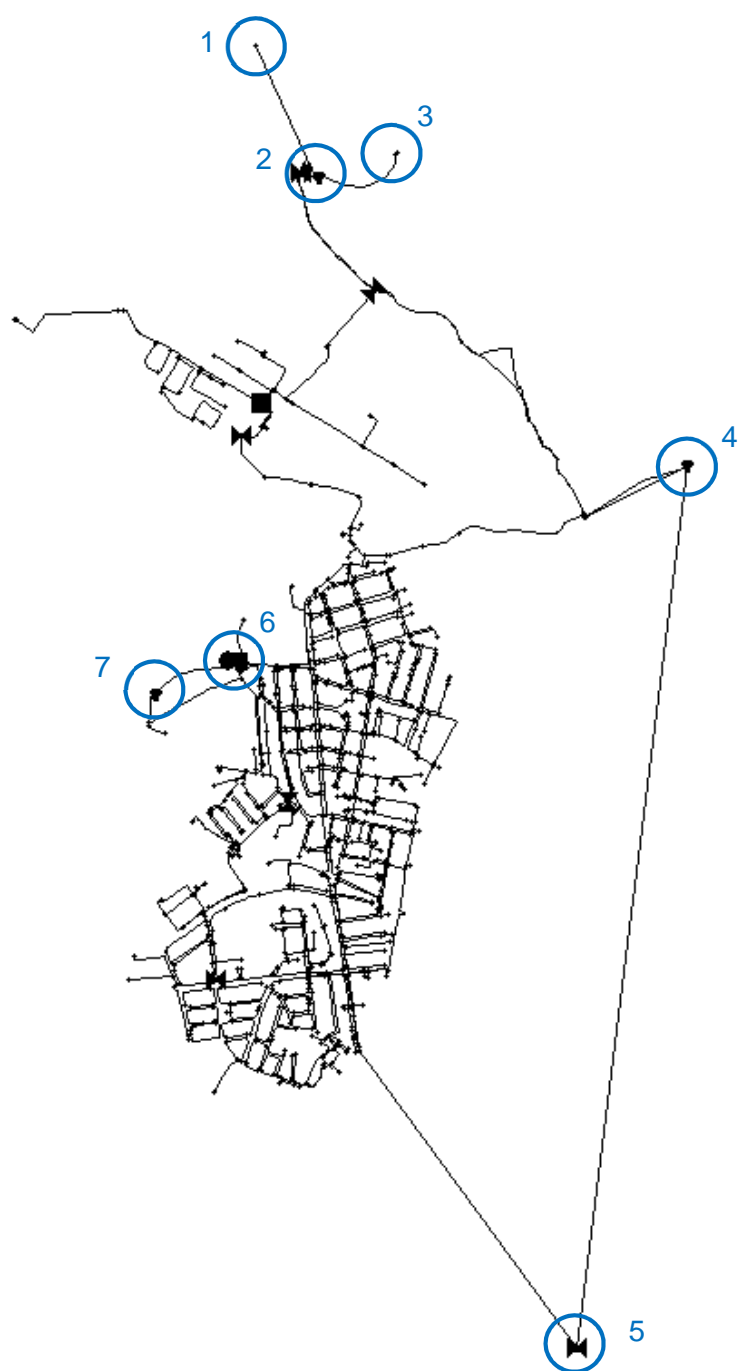


figura 2 Representació d'Epanet de la xarxa hidràulica

1. El cabal de la bomba a la sortida del dipòsit de Mollet es conegut, per tant en el model d'Epanet és representa com un node amb demanda equivalent al cabal de la bomba.
2. El dipòsit de Mollet no permet la sortida d'aigua cap a Pla de Vinyats.
3. Sortida d'aigua de la xarxa cap al sector de Lledoners. El cabal al sector es conegut i el proporciona una bomba que es representa com un node amb demanda equivalent.

4. En el model d'Epanet els dipòsits de Sant Joan es representen com un sol dipòsit
5. És el punt d'entrada d'aigua a la xarxa. Es representa a Epanet com un embassament i dues vàlvules limitadores de caudal, una alimenta el cabalímetre de l'Avinguda Pirelli i l'altra l'entrada del dipòsit de Sant Joan. Com a consigna tenen el cabal mesurat als cabalímetres corresponents.
6. Els dipòsits de Costar-rodona es representen com un sol dipòsit equivalent.
7. Dipòsit d'Aigua Elevada

Els sectors consten dels següents nodes: Sant Joan amb 751 nodes, el sector d'Aigua Elevada amb 133 nodes i el sector del polígon de Pla de Vinyats amb 51 nodes.

En el model d'Epanet hi ha 4 dipòsits, ja que els dipòsits de Sant Joan i de Costarrodona s'han introduït com un sol dipòsit cilíndric equivalent en el model d'Epanet:

dipòsit	nivell mínim (m)	nivell màxim (m)	alçada (m)	diametre (m)	volum (m3)
Sant Joan	0.1	3.29	3.19	32.87	2707
Costarrodona	0	3.18	3.18	20.22	1021
Dipòsit Aigua Elevada	0.75	6.35	5.60	5.82	149
Dipòsit Mollet	0.75	3.1	2.35	13.14	319

*Taula 2: Dades dels dipòsits del model d'Epanet*

A continuació es mostra l'esquema de principi de la xarxa:



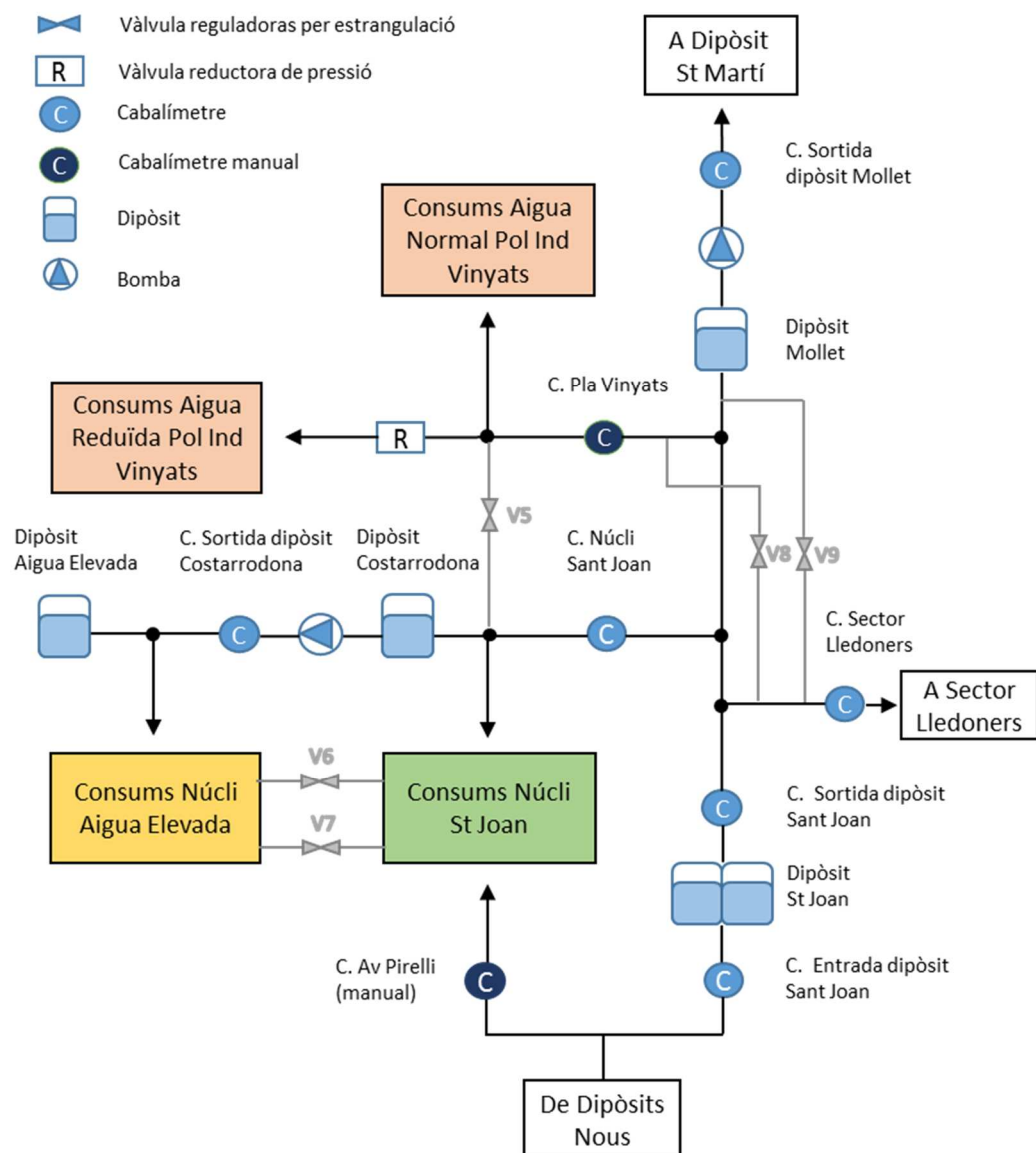


figura 3 Esquema de la xarxa (no s'hi representa les vàlvules limitadores de cabal)

## 4 Tractament de les dades mesurades i model de demanda

A continuació es fa una breu explicació dels principals passos per obtenir les dades amb les què es calcularan els consums dels sectors

### 4.1 Generació de dades

El primer pas consisteix en generar les dades amb les què treballarem a partir de les mesures dels cabals i dels nivells dels dipòsits següents:

- Dipòsit Aigua elevada
- Dipòsit Sant Joan
- Cabalímetre Entrada St. Joan
- Cabalímetre Sortida St. Joan
- Cabalímetre Nucli St. Joan
- Cabalímetre Lledoners
- Dipòsit Mollet
- Cabalímetre Impulsió Mollet
- Dipòsit Costa-rodona
- Cabalímetre Av. Pirelli
- Cabalímetre Costa-rodona

Les dades de les mesures estan guardades en arxius de fulles de càlcul d'Excel. En l'Dades dels cabalímetres i nivells de dipòsits es comenten les dades obtingudes el 3 de setembre de 2011, el dia que més mesures es van realitzar durant l'any. Les simulacions realitzades en els següents capítols es realitzen amb el consum d'aquest dia.

Els passos a seguir per generar les dades són les següents:

- Lectura de les mesures: consisteix en llegir les fulles de càlcul on estan guardades i guardar-les en la variable corresponent. Els fulls de càlcul consten de les dades de les mesures i els temps en que s'han produït. Les dades provenen de cabalímetres i de dipòsits. En els cabalímetres només es llegeixen i guarden les dades adequadament mentre que en els dipòsits a més a més es calcula la demanda.
- Remostrejat: la quantitat de dades de què es disposa varia en funció dels elements de mesura de la mateixa manera que ho fa la quantitat de mostres obtingudes. Per poder simular la xarxa es realitza el remostrejat que té la missió d'unificar els temps i la quantitat de dades de cada element

de mesura, de manera que tinguem el mateix nombre de dades en cada cas i cada una d'elles corresponents al mateix temps.

## 4.2 Model de demanda

### 4.2.1 Càlcul demandes globals

Un cop realitzats els passos anterior s'obtenen les dades amb un mostreig síncron (totes en el mateix instant de temps) amb les que es calculen les demandes de cada sector:

- Demandes del Pla de Vinyats:

$$D_{PlaVinyats} = Q_{csDipSJ} - Q_{cNucliSJ} - Q_{cLledoners} - D_{DipMollet} - Q_{csMollet} \quad (4.1)$$

- Demandes del nucli d'Aigua Elevada:

$$D_{AiguaElevada} = Q_{csCostarrodona} - D_{DipAiguaElevada} \quad (4.2)$$

- Demandes del nucli de Sant Joan:

$$D_{StJoanNucli} = Q_{cPirelli} + Q_{cNucliSJ} - D_{DipCostarrodona} - Q_{csCostarrodona} \quad (4.3)$$

Les demandes obtingudes i totes les altres dades contenen els temps i les mesures de tot l'any 2011. Les simulacions que es realitzen són únicament d'un dia concret, per tant, es necessari seleccionar de totes les dades anuals les corresponents al dia desitjat, en el nostre cas el 3 de setembre.

La simulació és fa amb períodes de 10 minuts, és a dir, cal tornar a mostrejar les dades del dia desitjat per a que tinguin una mesura cada 10 minuts, en total 144 en un dia.

### 4.2.2 Repartiment de la demanda als nodes

Per poder realitzar una simulació amb Epanet un dels paràmetres que cal definir és la demanda base de cada node. Si es vol fer una simulació on la demanda dels nusos variï en el temps cal crear un patró de demanda. És a dir, la demanda d'un node en cada instant de temps és funció de la demanda base (un paràmetre constant) i un patró de consum (que varia en el temps):

$$D_i(t) = D_{i\ base} \cdot f_{c_i}(t) \quad (4.4)$$

On  $D_i(t)$  és la demanda en un període determinat,  $D_{i \text{ base}}$  és la demanda base del nus i  $fc_i(t)$  és el patró de consum.

Amb la toolkid de Epanet i Matlab podrem treballar de manera que introduïrem directament en cada període de simulació la demanda que té cada node. La demanda de cada node s'obté repartint la demanda de cada sector segons la demanda base del model assegurant que en cada moment es compleixen les condicions de contorn de cada zona.

Primer es calcula un patró de consum ( $fc_i$ ) per cada instant, que depèn de la demanda real instantània i de la suma total de les demandes base de cada zona:

$$fc_i = \frac{Q_{i \text{ total}}}{\sum_{j=1}^n D_{ij \text{ base}}} \quad (4.5)$$

On  $Q_{i \text{ total}}$  és la demanda total del sector en un instant.

Seguidament es calcula la demanda instantània ( $D_{ij}$ ) de cada nus:

$$D_{ij} = D_{ij \text{ base}} \cdot fc_i \quad (4.6)$$

De manera que es compleix que la suma de totes les demandes en un temps donat sigui igual a la condició de contorn, el consum total de la zona en un instant de temps determinat:

$$Q_{i \text{ total}} = \sum_{j=1}^n D_{ij} \quad (4.7)$$

Els patrons que hi ha definits en l'arxiu d'Epanet, en aquest cas no fan referència a un patró de demanda sinó que únicament ens serveixen per saber a quin sector esta cada nus:

- 1 correspon al nucli de Sant Joan
- 2 al nucli d'aigua elevada,
- 3 i 4 al polígon Pla de Vinyats.

## 5 Consums trimestrals

L'objectiu d'aquest apartat és comparar el consum calculat a partir de les dades de contorn i el consum facturat en cada sector. El consum facturat és el mesurat pels comptadors dels clients mentre que el consum calculat, a més a més del consum facturat, inclou possibles fraus, fuites, etc. Per tant, els consums calculats sempre haurien de ser més grans.

De les dades dels consums facturat proporcionades per Aigües de Manresa només en sabem els consums dels abonats en cada període sense saber a quins nodes corresponen o a quin tipus de consum (industrial, residencial...).

### 5.1 Pla de Vinyats

Aquesta zona no té cap dipòsit i només té un punt d'alimentació. A l'entrada del sector hi ha un cabalímetre manual. Només es disposen de 12 mesures, una per mes en m<sup>3</sup>/dia, a falta de més informació es suposa que és una mitjana de consum diari.

En aquest sector es poden comparar els consums facturats en cada període, el consum calculat a partir de les dades de contorn (equació (4.1)) i el consum mesurat al cabalímetre manual. Es compara el total de m<sup>3</sup> consumit en cada període.

Pel que fa al consum facturat durant els tres primers períodes és similar mentre que augmenta en l'últim per l'aparició d'un nou consum. Aquest consum és de 10962 m<sup>3</sup> un valor significatiu ja que es molt més elevat que la gran majoria de consums del sector.

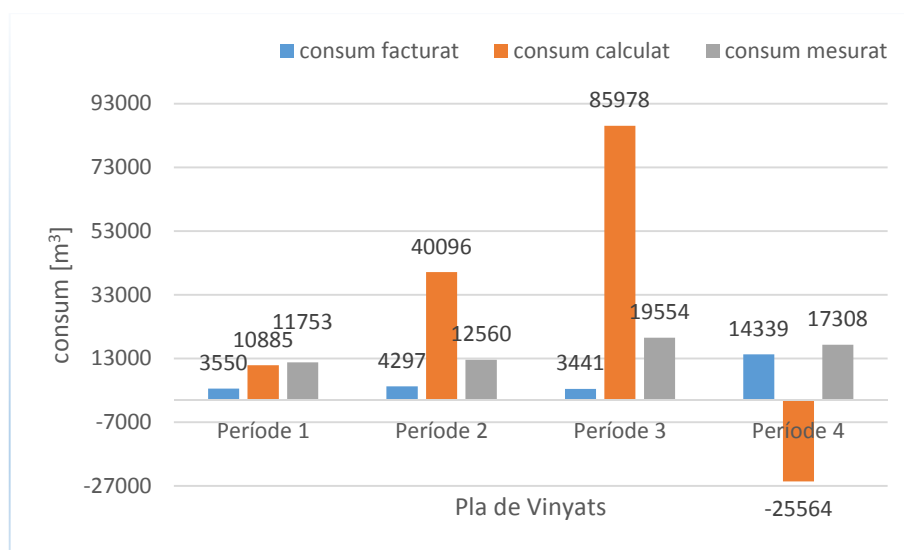


figura 4 Consums trimestrals de Pla de Vinyats

Del consum calculat podem dir que el període 1 és l'únic en que el consum calculat i el consum mesurat és similar, tot i que en el conjunt del trimestre hi ha dies en que les dades són escasses fet que pot afectar al càlcul del consum. En els altres períodes el consum calculat no és pot considerar vàlid per les anomalies següents:

- En el període 2 (en el mes de juny) i seguint en el període 3 (mesos de juliol i agost) és detecta en el cabalímetre del nucli de St. Joan que durant aquest mesos les mesures que realitza són totes molt pròximes a zero. Aquest fet afecta al càlcul de la demanda de Pla de Vinyats fent augmentar molt el consum calculat i disminuint molt el consum al nucli de St. Joan com s'explicarà en l'apartat 5.3. En els consums facturats no es detecta que hi hagi cap augment de consum ni cap nou consumidor que pugues fer augmentar molt la demanda global del sector.
- El consum negatiu calculat al període 4 conté un error de càlcul en el remostrejat d'un dels paràmetre que intervenen en el seu càlcul. Aquest error només apareix en l'últim mes.

Pel que fa el consum mesurat sempre és major que la facturació però les diferències són massa significatives. Només en el darrer període es podrien considerar degudes a fuites. El consum que s'ha afegit pot ser la causa d'aquesta millora en el rendiment del sector.

## 5.2 Aigua Elevada

En aquest sector és disposa d'un cabalímetre a les bombes de Costa-rodona (punt d'alimentació del sector) i del nivell del dipòsit d'Aigua Elevada, a partir dels quals es calcula la demanda (equació (4.2)).

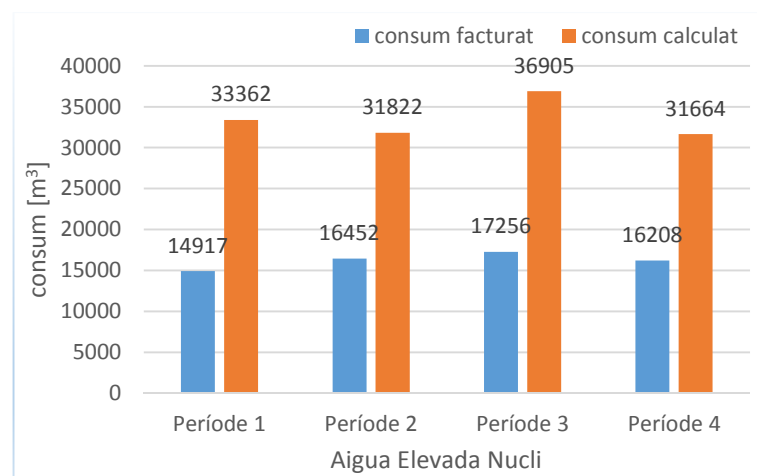


figura 5 Consums trimestrals d'Aigua Elevada

En el sector d'Aigua Elevada el consum calculat sempre és més gran que el facturat.

### 5.3 Sant Joan Nucli

En el sector de Sant Joan el consum facturat és major que el calculat (equació (4.3)) en tres dels quatre períodes.

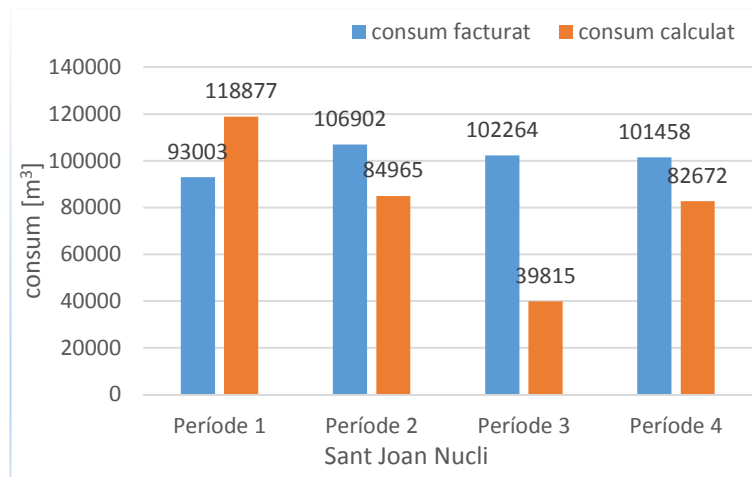


figura 6 Consums trimestrals del sector de Sant Joan

Com ja s'ha comentat en els consums de Pla de Vinyats, durant un període de temps que afecta els mesos de juny, juliol i agost les mesures del cabalímetre de Sant Joan són pràcticament zero. Aquest fet afecta el consum calculat a Sant Joan, de manera que les dades del període 2 i 3 no es poden considerar correctes.

### 5.4 Conclusions

Com ja s'ha comentat les demandes de cada sector estan calculades a partir de les dades de contorn de la zona i repartides segons la demanda base de cadascun dels nodes. Aquest model no contempla que pugui haver-hi emissors. La proposta inicial per tenir en compte les fuites que poden haver-hi consistia en:

1. Calcular la demanda mitja de cada zona a partir de la facturació trimestral.
2. Calcular la demanda mitja de cada zona a partir de les dades de contorn disponibles.
3. Associar la diferència als emissors
4. La demanda a cada node serà igual a la seua demanda base multiplicada pel valor del patró d'aquella zona en l'instant de temps que simulem, més la fuga provocada pel coeficient emissor calculat.

El problema amb les dades del cabalímetre de St. Joan que afecta al període 1 i 2 i errors de càlcul a en la demanda de Pla de Vinyats en el període 3 invaliden el consum calculat, de manera que la proposta anterior no és viable. El model de demandes que inclou les fuites, en que els emissors no són calculats en funció de la demanda trimestral s'explica en el capítol 11.

## 6 Model hidràulic inicial

### 6.1 Dades inicials

Les dades necessàries per poder realitzar la simulació són:

- Les dades dels nivells dels dipòsits i les mesures dels cabalímetres, per poder calcular el consum de cada sector
- Dades de la geometria dels dipòsits.
- Corbes de les bombes.
- Demandes base dels nodes.
- Lleis de control
- L'aigua del dipòsit de Mollet només pot anar cap a Sant Martí
- L'aigua del dipòsit de Costa-rodona pot anar cap a Aigua Elevada o cap a Sant Joan.
- El cabal del cabalímetre d'Avinguda Pirelli és considera constant

### 6.2 Consums de cada sector a partir de les dades de contorn

#### 6.2.1 Consums del nucli d'Aigua Elevada

El consum d'Aigua Elevada és la diferencia entre el cabal de les bombes de Costar-rodona i el dipòsit d'Aigua Elevada:

$$D_{AiguaElevada} = Q_{csCostarrodona} - D_{DipAiguaElevada} \quad (6.1)$$

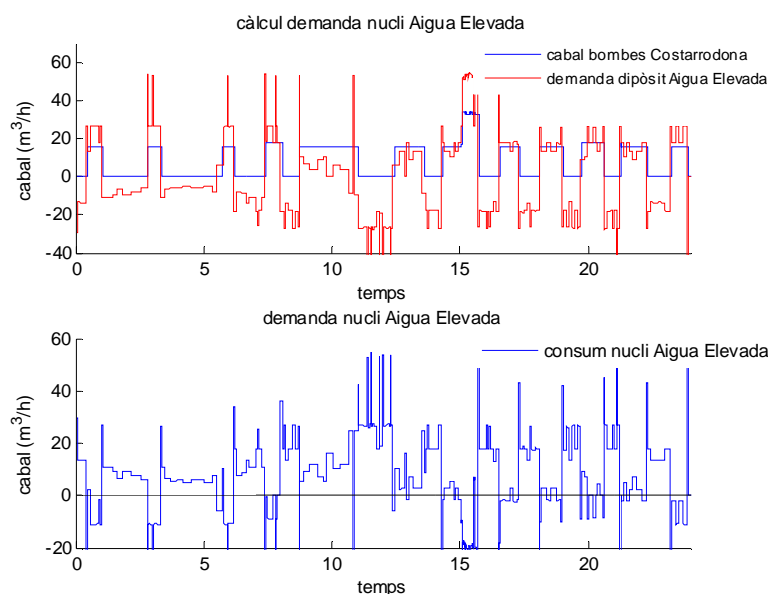


figura 7 Càlcul de la demanda del nucli d'Aigua elevada



### 6.2.2 Consums de nucli de Sant Joan

El consum del nucli de Sant Joan s'obté a partir de les mesures dels cabalímetres de Sant Joan, el cabal de Pirelli i la demanda del dipòsit de Costar-rodona i el seu cabal de sortida. El cabal de Pirelli es considera constant.

$$D_{StJoanNucli} = Q_{cPirelli} + Q_{cNucliSJ} - D_{DipCostarrodon} - Q_{cbCostarrodon} \quad (6.2)$$

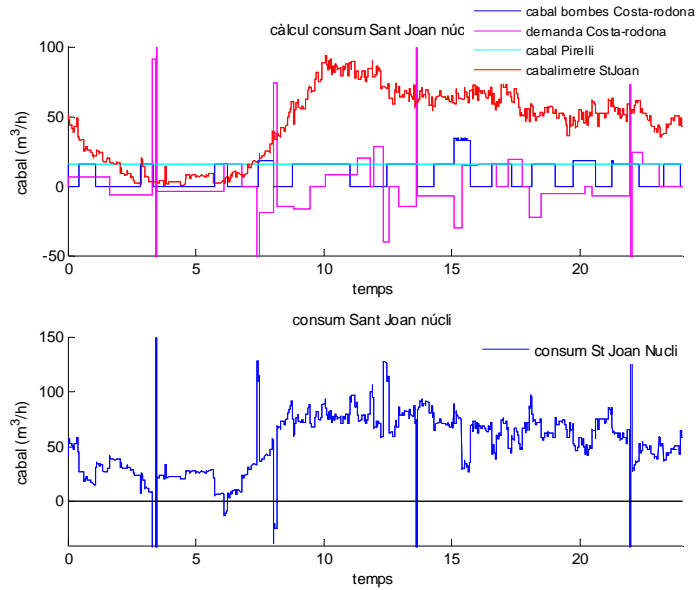


figura 8 Consums del nucli de Sant Joan i variables que intervenen en el seu càlcul

### 6.2.3 Consums del Polígon de Pla de Vinyats

El consum del sector de Pla de Vinyats es calcula a partir de les mesures preses pel cabalímetre de la sortida del dipòsit de St. Joan, el cabalímetre de St. Joan, el cabalímetre de Lledoners, la demanda del dipòsit de Mollet i el seu cabal de sortida:

$$D_{PlaVinyats} = Q_{csDipSJ} - Q_{cNucliSJ} - Q_{cLledoners} - D_{DipMollet} - Q_{csMollet} \quad (6.3)$$

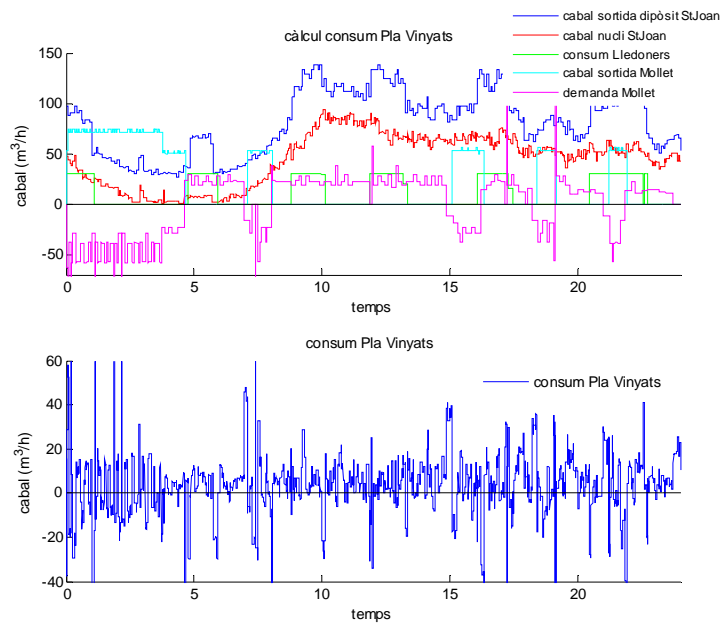


figura 9 Consum de Pla de Vinyats

### 6.3 Simulació

Les simulacions realitzades tenen un mostreig de 10 minuts. S'ha simulat el dia que es disposaven més dades: 3 de setembre de 2011.

Els consums calculats anteriorment tenen aproximadament un mostreig cada minut. Per utilitzar-los com a dada per la simulació s'han tornat a mostrejar cada 10 minuts, de manera que obtenim 144 mesures. El nou mostreig s'obté fent la mitjana dels valors que es troben en intervals de 10 minuts. Durant el procés s'eliminen alguns valors espuris.

Aquest consum es reparteix a cada node segons la demanda base del model.

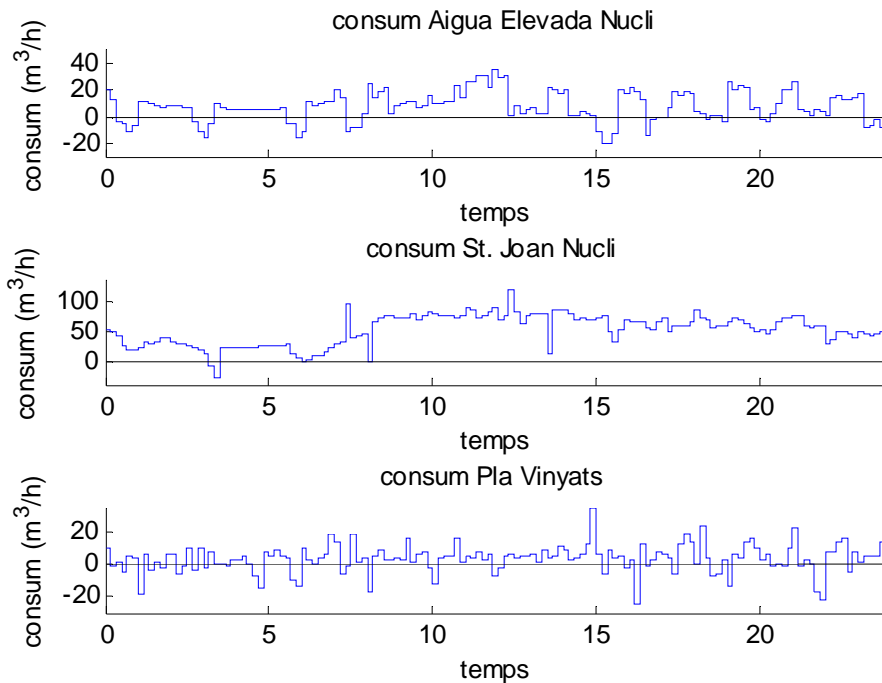


figura 10 Consum de cada sector amb un mostreig cada 600 segons

### 6.3.1 Demandes dels dipòsits

En la següent gràfica de demandes de dipòsits les formes que s'observen són similars en tots els dipòsits:

- Aigua Elevada: la demanda simulada i la demanda real són pràcticament idèntiques amb petites diferències.
- Mollet: la demanda simulada sempre és més baixa que la demanda real (el dipòsit no s'omple tant com a la realitat) amb un offset que és pràcticament constant.
- Costa-rodona i dipòsit de St. Joan: durant la nit i el mati la demanda simulada presenta diferències significatives respecte la real, a partir del mig dia presenten un comportament similar al real.

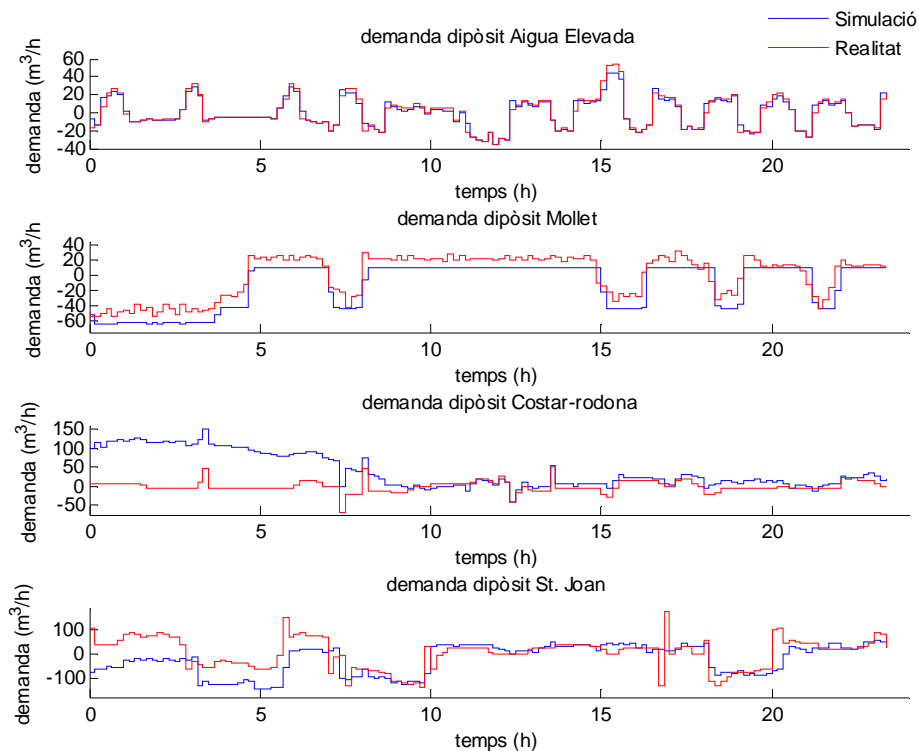


figura 11

*Demanda dels dipòsits*

### 6.3.2 Cabals

Respecte els cabals:

- El cabal a la sortida de Mollet és un cabal que es fixa amb un node que té una demanda igual al cabal mesurat a la bomba de la sortida de Mollet, per tant la simulació i la realitat seran iguals
- El cabal de Pirelli és un cabal fixat amb una vàlvula de control de cabal, que correspon al cabal mesurat, per tant és un cas similar al anterior.
- Els cabals de St. Joan Nucli i de sortida del dipòsit de St. Joan són molt diferents respecte la realitat, la majoria del dia superiors en la simulació, conseqüència de que el dipòsit de Costa-rodona s'ompli tant.
- El cabal simulat de la bomba de Costa-rodona (a la sortida del dipòsit) és similar al cabal real.

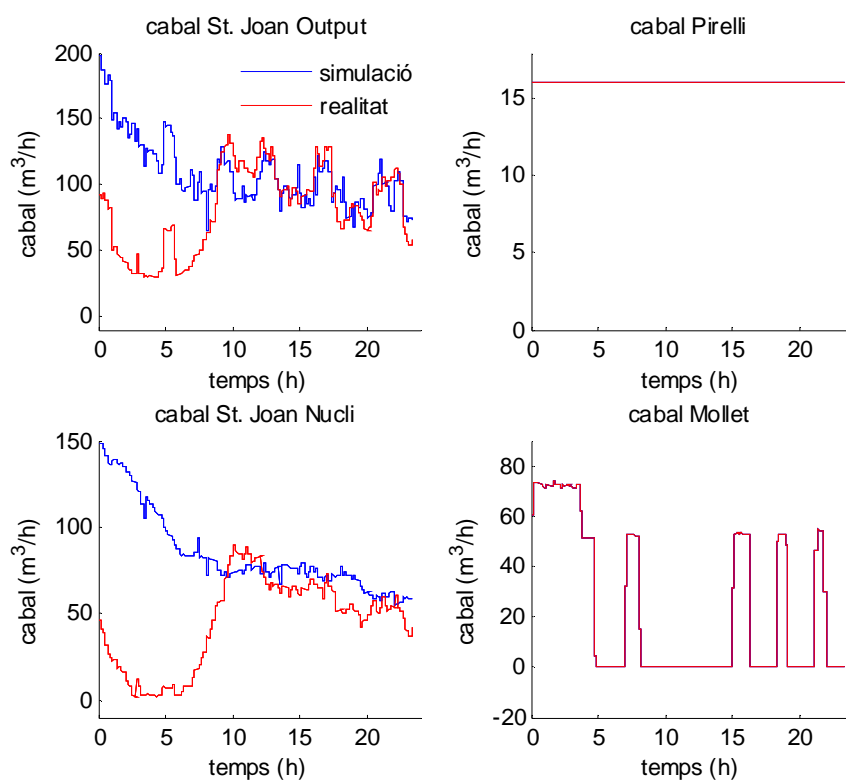


figura 12

*Cabals sortida dipòsit St. Joan, cabal Pirelli, cabal St. Joan , cabal Mollet*

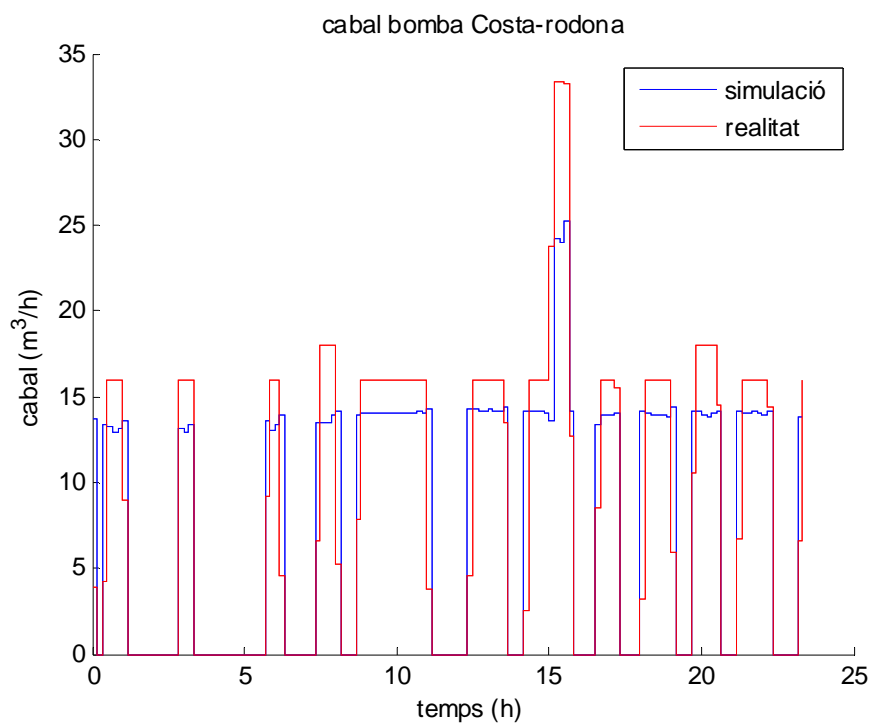


figura 13

*Cabal bomba de Costa-rodona*

### 6.3.3 Nivell dels dipòsits

Els nivells dels dipòsits estan relacionats amb la demanda (figura 11 ):

- Aigua Elevada: té un comportament similar al real.
- Mollet: la demanda era sempre inferior a la real, per tant s'observa que el dipòsit es buida i no s'omple com a la realitat.
- Costa-rodona i St. Joan: el dipòsit de Costa-rodona s'omple durant el matí i el de St. Joan es buida.

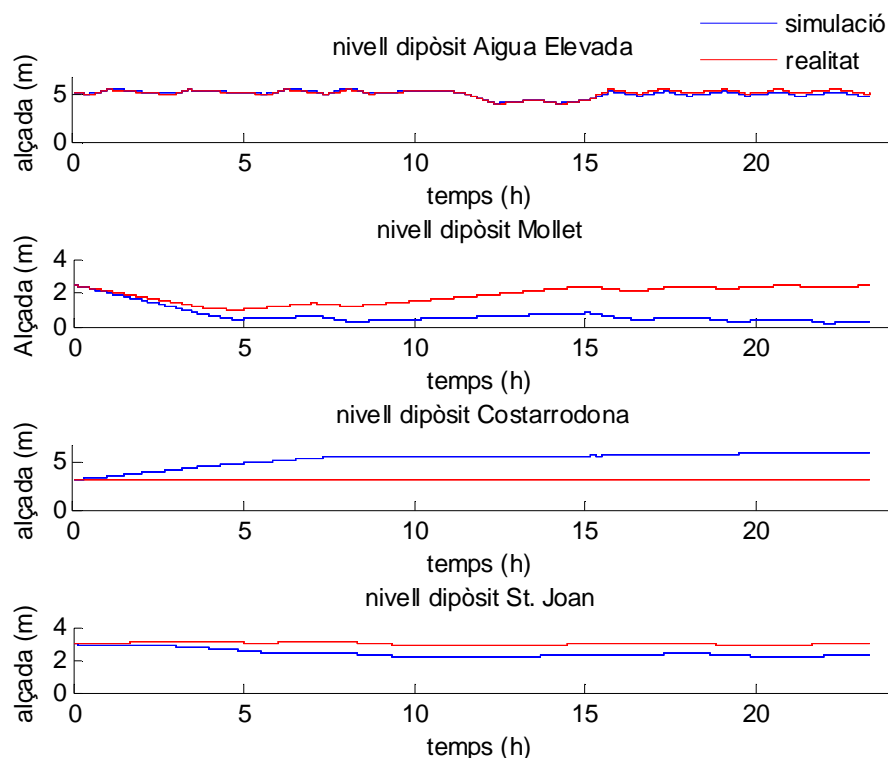


figura 14

*Nivells dels dipòsits*

### 6.3.4 Consums dels sectors

Els consums simulat dels sectors s'obtenen igual que els consums obtinguts en el punt 3.4. En aquest cas s'han d'obtenir els cabals de les canonades, calculats a la simulació, que subministren a cada sector i procedir amb el mateix càlcul. Encara que els cabal real i simulat en una canonada determinada siguin diferents, el consum real i simulat és igual, ja que aquest és un paràmetre fixat.

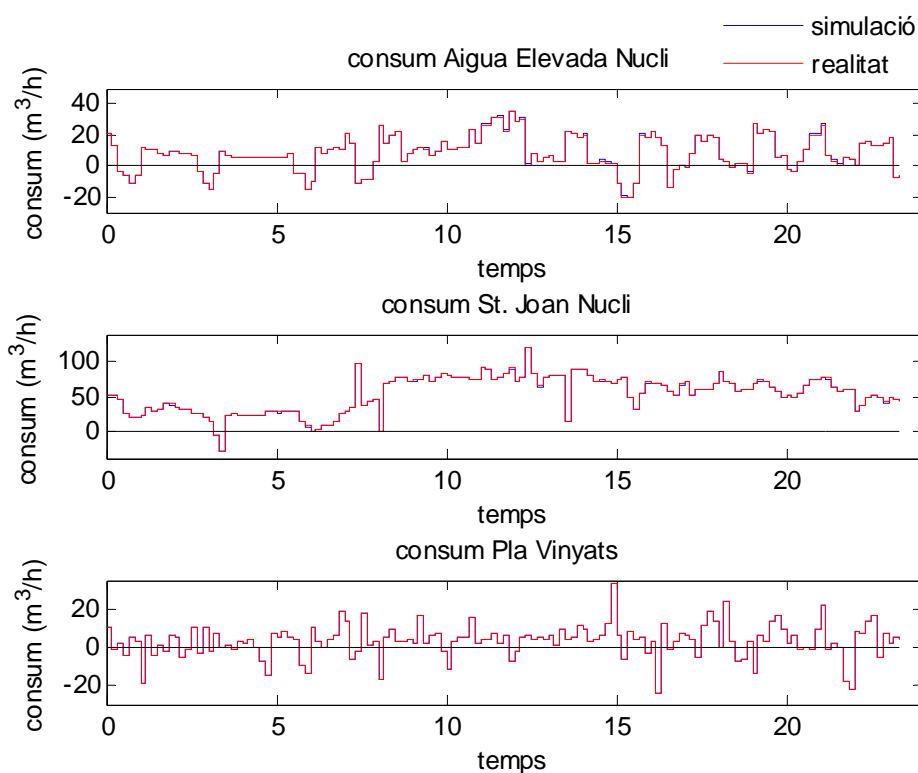


figura 15 Consums dels sectors. El consum simulat i el consum real coincideixen.

## 6.4 Conclusions

Cabals:

- Cabalímetre sortida dipòsit St. Joan: el cabal simulat és molt més gran durant el matí, això significa que en la simulació s'introdueix més aigua a la xarxa que a la realitat.
- El cabal dels cabalímetres de Lledoners, del cabalímetre a la sortida de Mollet ( i la demanda del dipòsit) són cabals mesurats.
- Cabalímetre de St Joan Nucli: el cabal simulat és més gran que la realitat. La gran majoria d'aigua que hi ha de més a la simulació a la sortida dipòsit de St. Joan passa pel cabalímetre de St Joan Nucli.
- El cabal de Pirelli es considera constant i es un cabal mesurat.

El fet de considerar que el cabal de Pirelli és constant durant tot el dia afecta al càlcul del consum del sector de St. Joan Nucli. Si el cabal no fos realment constant estaríem calculant un consum més elevat del que és realment.

Nivells i demandes dels dipòsits:

- Aigua Elevada: la simulació és molt similar a les mesures (figura 11 i figura 14 , les diferències es deuen a la bomba (corba hidràulica o càrregues) com es pot veure amb el cabal simulat a la figura 13 .
- Mollet: el fet que a la simulació es buidi pot ser degut a un desajust aigües avall en la pressió o la demanda.
- Dipòsit de St Joan: el cabal de sortida és més gran, per tant és buida, probablement a algun desajust amb les demandes de St Joan nucli o del cabalímetre de Pirelli.
- Costa-rodona: entra molta aigua durant la nit i el matí de manera que s'omple.



## 7 Anàlisi Aigua Elevada

### 7.1 Consums d'Aigua Elevada i cabals de les bombes de Costa-rodona

L'únic punt d'alimentació del sector és a través de les bombes de Costa-rodona situades a la sortida del dipòsit. El que passi a la resta de la xarxa no afectarà el comportament d'aquest sector ja que és pràcticament independent.

Tal i com s'observa en la següent gràfica el dipòsit d'Aigua Elevada només s'omple quan les bombes estan en funcionament, en cas contrari el dipòsit es buida.

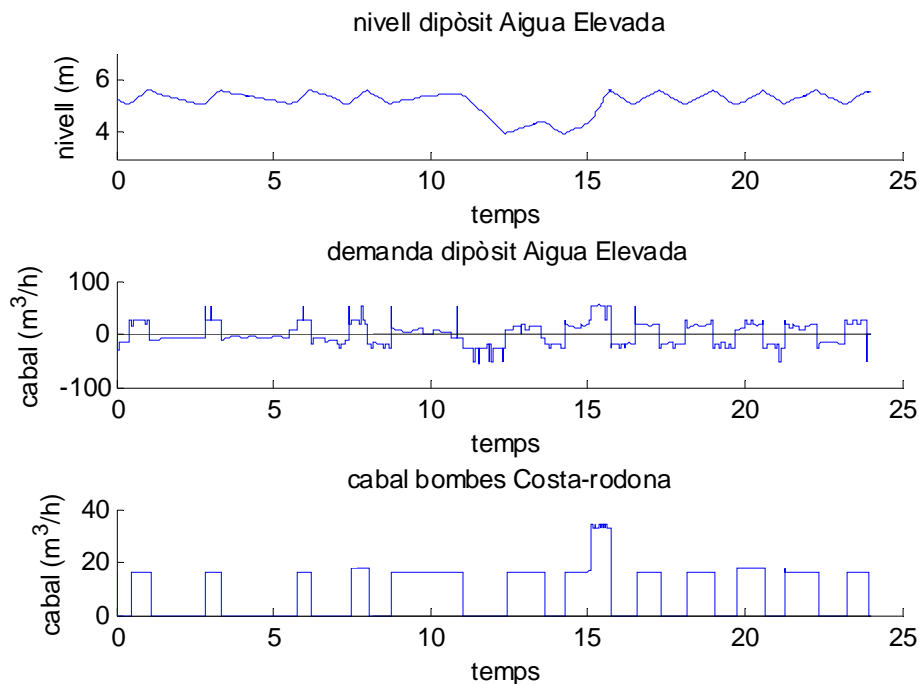


figura 16 *Nivell i demanda dipòsit Aigua Elevada i cabal bombes Costar-rodona*

Pel que fa el consum del nucli d'Aigua Elevada en la figura 10 s'observa com en alguns instant el consum és negatiu. Això significaria que en aquest sector en alguns instants hi ha una aportació d'aigua a la xarxa, situació que no es possible ja que no hi ha cap node que doni aigua a la xarxa. En la següent figura es veu clarament que els valors negatius del consum són quan la demanda del dipòsit és més gran que el cabal de les bombes de Costa-rodona, és a dir, és com si no entres prou aigua al sector. Això es pot deure a una mala mesura del cabal de les bombes.

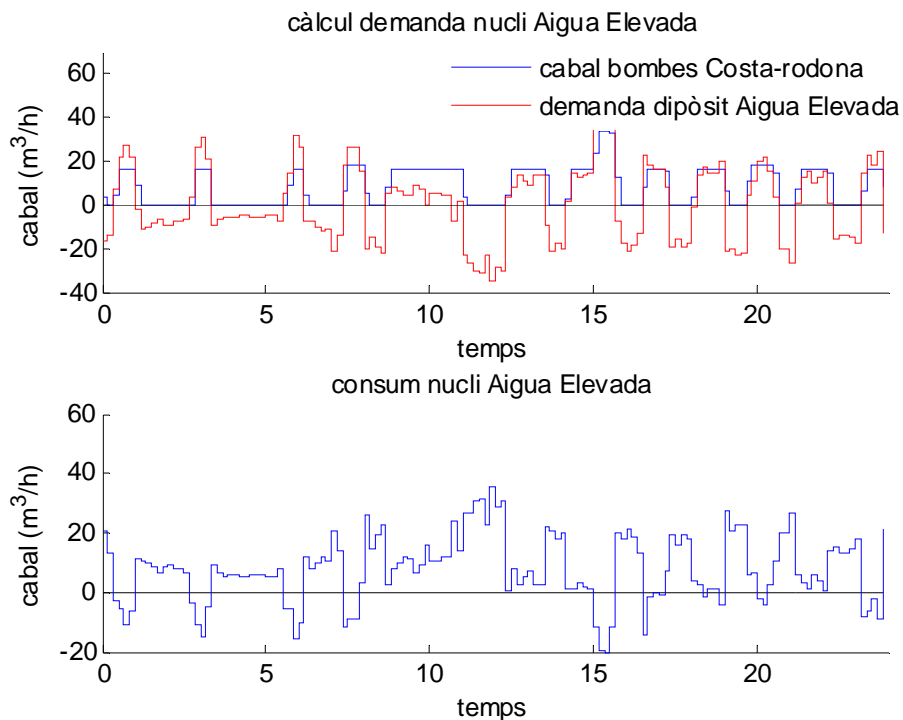


figura 17 *Consum d'Aigua Elevada, demanda dipòsit Aigua Elevada i cabal bombes Costarrodona*

Per evitar que això succeeixi sumarem un offset al cabal mesurat de les bombes de Costa-rodona amb el quan es pretén:

- evitar que en cap moment la demanda del dipòsit sigui més gran que el cabal que entra al sector
- conseqüència de l'anterior, obtenir una corba de consum d'aigua elevada més suau amb una tendència més marcada sense variacions tant grans ni cabals negatius.

Sumant al cabal de les bombes 15 m<sup>3</sup>/h (només quant aquestes funcionen) obtenim les corbes de la figura 18 on s'observa com al augmentar el cabal augmenta el consum.

Per altra banda, el consum de St. Joan es calcula a partir del cabal de les bombes de Costa-rodona, la demanda del dipòsit, el cabal de Pirelli i el cabalímetre de St. Joan Nucli, tal com es mostra en l'equació (6.3).

Per tant, un cop modificats els cabals de les bombes s'ha de tornar calcular el consum del sector de St. Joan i el d'Aigua Elevada.

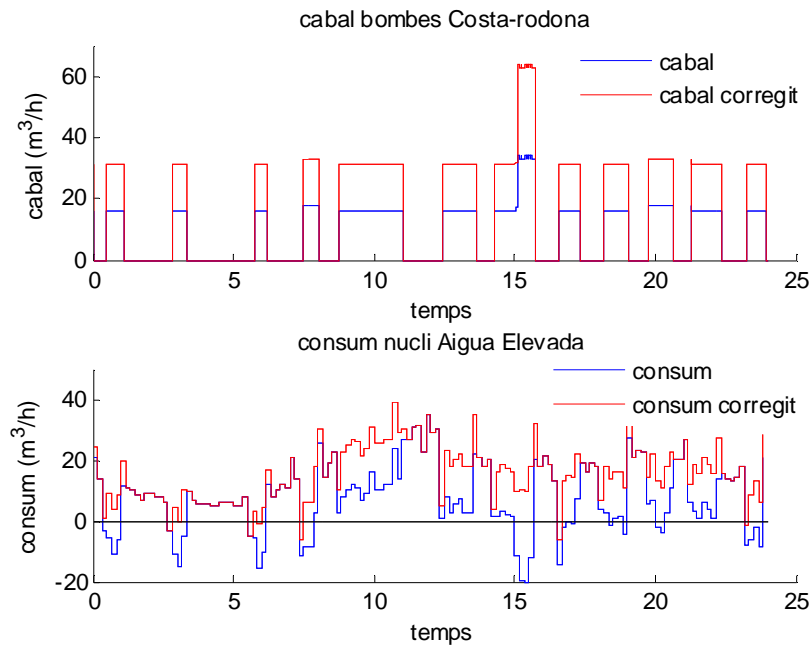


figura 18 *cabal de les bombes de Costa-rodona i consums al nucli d'Aigua Elevada corregits*

El següent pas per obtenir el consum d'Aigua Elevada amb el que calcularem les demandes de cada node serà filtrar el consum corregit de manera que tinguem una corba més suau de manera que eliminem el soroll de les mesures que s'ha anat arrastrant.

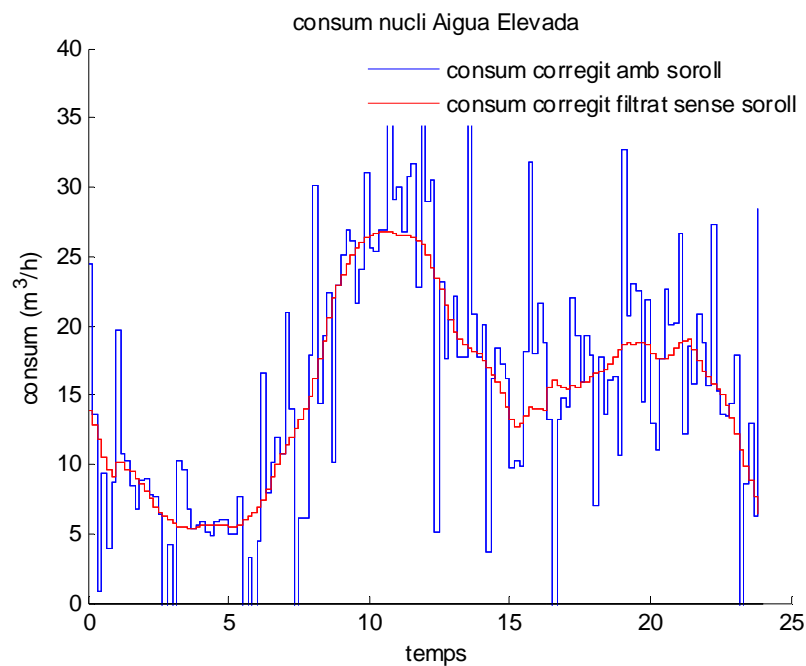


figura 19 *Consum Aigua Elevada. En blau consum corregit amb soroll, en roig consum corregit i filtrat (sense soroll)*

## 7.2 Corba de les bombes de Costa-rodona

Les bombes de Costa-rodona estan situades a la sortida del dipòsit i són l'únic punt d'alimentació del sector d'Aigua Elevada. La característica més important de les bombes és la corba cabal-altura, que representa l'altura que pot donar en funció del cabal. En aquest apartat s'estudien tres corbes utilitzades i com afecta cada una en les simulacions.

A continuació s'enumera les corbes que s'han utilitzat:

- Corba A: corba original del model original enviat per Aigües de Manresa.
- Corba B: corba utilitzada en la simulació del primer model. Amb aquesta corba s'obtenia un cabal i nivell del dipòsit d'Aigua Elevada simulats molt similar als valors reals. Com que aquest cabal real s'ha modificat en el l'apartat anterior cal utilitzar una altra corba.
- Corba C: és una variació de la corba A en que el cabal màxim és el mateix però l'altura es menor. Amb aquesta corba obtenim un cabal simulat similar al real.

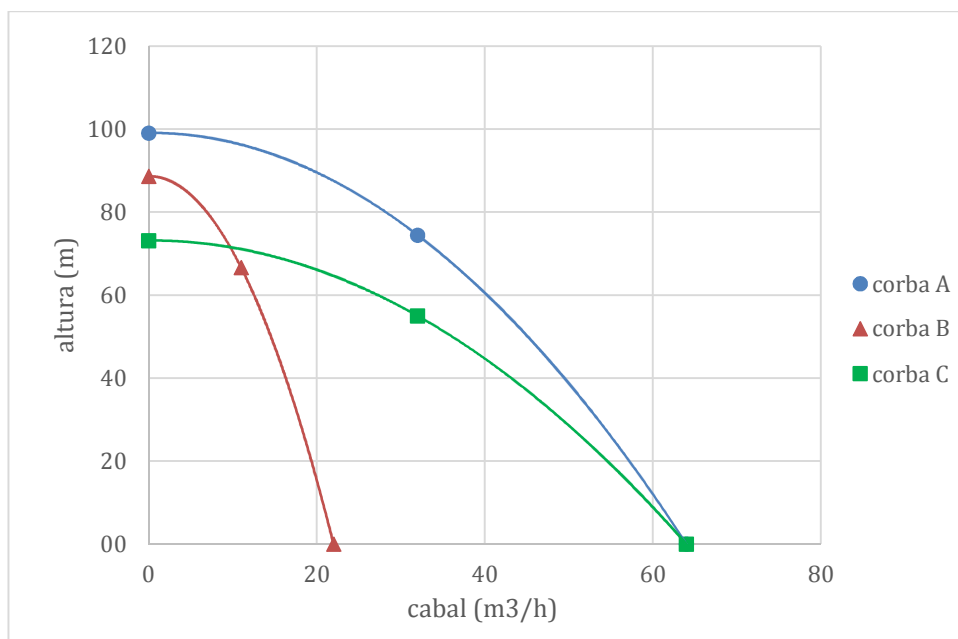


figura 20

Corbes en les bombes de Costa-rodona

corba A		corba B		corba C	
caudal	altura	caudal	altura	caudal	altura
m <sup>3</sup> /h	m	m <sup>3</sup> /h	m	m <sup>3</sup> /h	m
0	99.1	0	88.63	0	73.15
32	74.5	11	66.64	32	55.00
64	0.0	22	0.0	64	0.0

figura 21 *Punts de funcionament de els corbes i els valor màxims i mínims de cabal i altura segons les hipòtesis que realitza EPANET*

A continuació s'expliquen els diversos casos estudiats amb els que es pretén justificar la corba utilitzada en el model hidràulic modificat (que s'explica en el capítol 10)

### Cas1: simulació amb el cabal de les bombes de Costa-rodona no corregit i amb la corba B

Aquests són els resultats del cabal de les bombes de Costa-rodona i el nivell del dipòsit d'Aigua Elevada. Aquest resultats s'han obtingut en la simulació del model hidràulic inicial (apartat 6.3 Simulació):

- El cabal real les bombes de Costa-rodona no està corregit, això significa que les dades de consum del nucli d'Aigua Elevada són negatives en alguns instants i sense filtrar (amb soroll, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) .
- La corba de la bomba de Costa-rodona és la corba B.

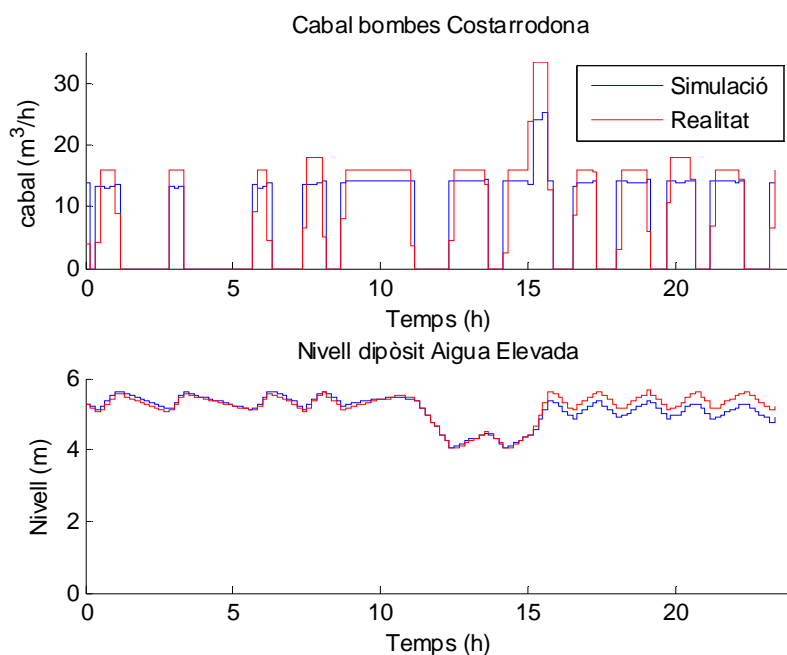


figura 22 *Simulació cabal bombes Costa-rodona i nivell del dipòsit d'Aigua Elevada*

### Cas 2: simulació amb el cabal de les bombes de Costa-rodona corregit i la corba B.

En aquest cas:

- El cabal real de les bombes de Costa-rodona s'ha corregit (en l'apartat anterior). Per tant també s'ha corregit el consum d'Aigua Elevada, de manera que ja no hi ha consums negatius.
- La simulació es realitza amb la corba B

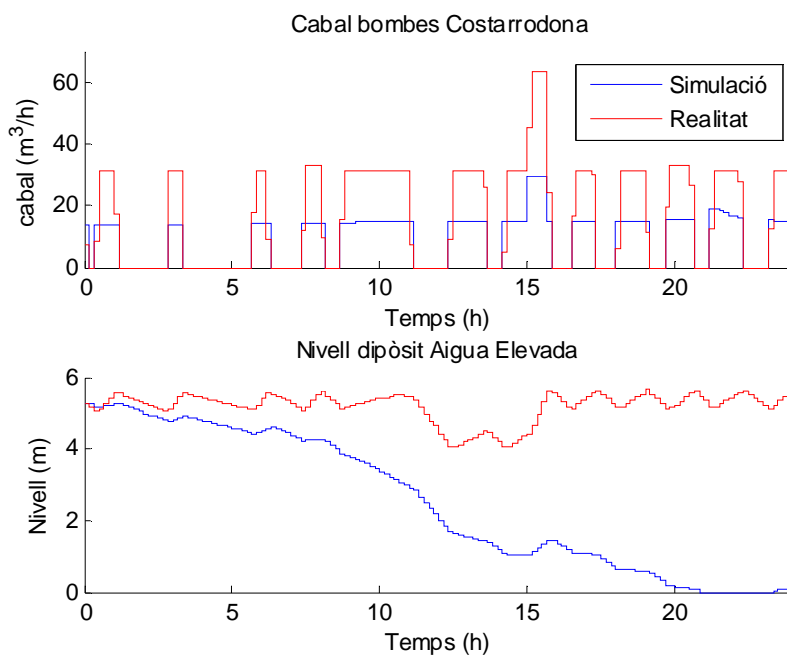


figura 23 Simulació cabal bombes Costa-rodona i nivell del dipòsit d'Aigua Elevada

Com que el consum d'Aigua Elevada ara és més gran que en el cas 1 (perquè és el consum corregit sense valors negatius), les bombes no són capaces de subministrar prou cabal (amb la corba B) per tant el dipòsit d'Aigua Elevada es buida.

### Cas 3: simulació amb el cabal de les bombes de Costa-rodona corregit i la corba A.

Per evitar que succeeixi lo mateix que en el punt anterior, es canvia la corba de la bomba per a que pugui subministrar més cabal. En aquest cas:

- El consum d'Aigua Elevada està corregit.
- La corba utilitzada es la corba A.

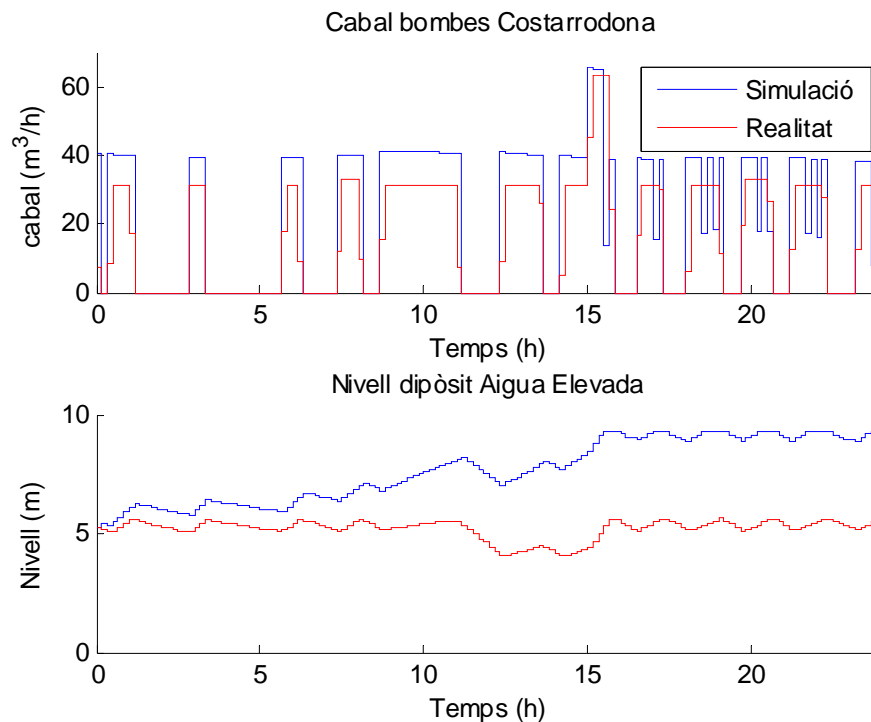


figura 24 Resultat de la simulació cabal bombes Costa-rodona i nivell del dipòsit d'Aigua Elevada

El cabal simulat és significativament major que la realitat, és a dir, està entrant més aigua al sector. Com que la demanda del sector és la mateixa que el cas anterior, aquest augment de cabal a les bombes es tradueix en un augment de nivell simulat del dipòsit d'Aigua Elevada.

#### **Cas 4: simulació amb el cabal de les bombes de Costa-rodona corregit i la corba C.**

Per evitar que el dipòsit s'ompli amb excés, realitzarem la simulació amb una corba amb la qual obtinguem un cabal simulat a les bombes de Costa-rodona similar al real: En aquesta simulació:

- El consum d'Aigua Elevada està corregit.
- La corba utilitzada es la corba C.

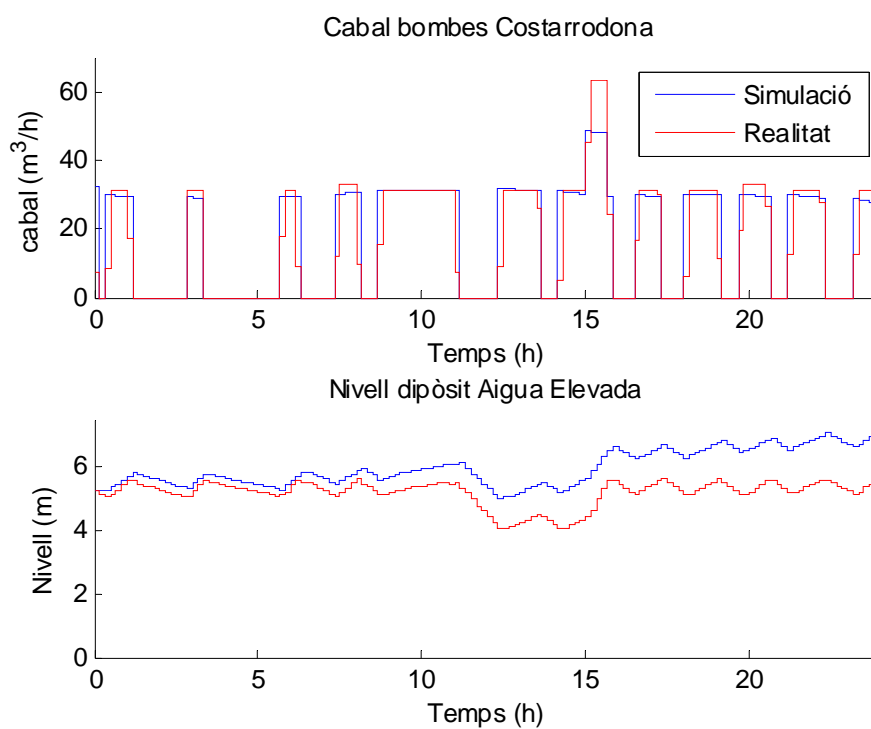


figura 25 *Resultat de la simulació cabal bombes Costarrodona i nivell del dipòsit d'Aigua Elevada*

Amb aquesta corba s'aconsegueix que el cabal de les bombes simulat sigui similar al de la realitat, tot i això el dipòsit d'Aigua Elevada s'omple amb excés.



## 8 Anàlisi dipòsit de Costa-rodona i sector St. Joan

El consum calculat a St. Joan s'ha de tornar a calcular ja que el cabal de les bombes s'ha modificat. En la següent gràfica es pot observar el cabal modificat de les bombes i consum modificat de St. Joan.

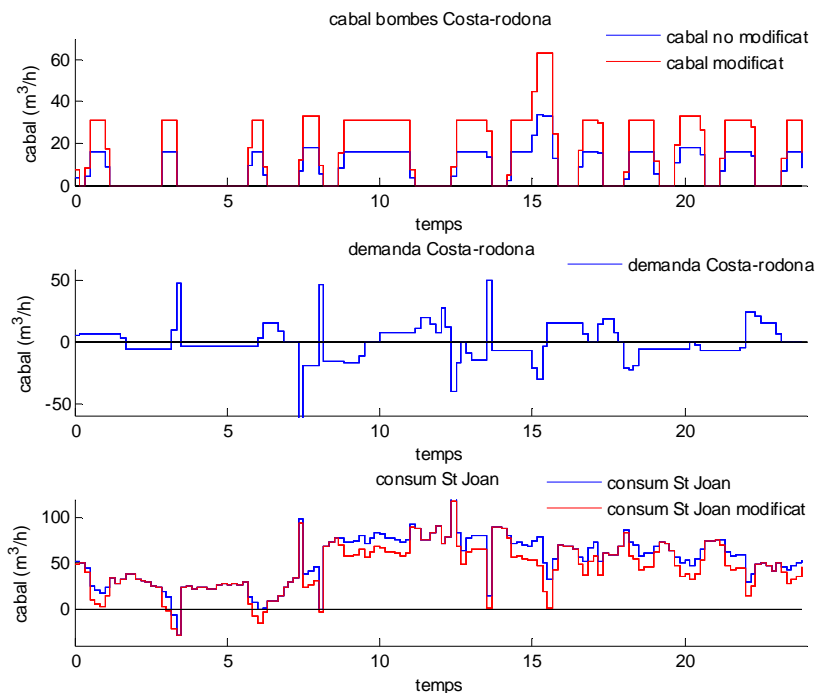


figura 26 Cabal bombes Costa-rodona, demanda Costa-rodona i consum de St. Joan

Com podem observar en la gràfica anterior i en l'equació (4.3) el consum calculat a St. Joan depèn, entre d'altres, del cabal de les bombes. En la gràfica veiem com el consum modificat de St. Joan disminueix quan les bombes s'engeguen. El que s'observa és que el cabal de les bombes no l'obté de l'aigua emmagatzemada al dipòsit, sinó que l'obté del consum de St. Joan fent que aquest disminueixi o prengui valor negatiu.

En la realitat la demanda dels nodes de St. Joan no es veu afectada pel funcionament de les bombes ja que el cabal que aquestes subministren l'obtenen de l'aigua emmagatzemada al dipòsit de Costa-rodona, és a dir, s'hauria d'observar una variació de la demanda cada cop que les bombes s'engeguen i no al consum de St. Joan.

Aquest és un dels motius pels que es considerarà que la demanda del dipòsit no és vàlida.

El fet que la demanda no sigui vàlida pot deure a la combinació de diversos factors:

- Poques mesures realitzades del nivell del dipòsit. De fet es l'element de la xarxa que té menys mesures (en l'apartat A2.2 es poden veure les mesures del nivell del dipòsit).
- L'interval de temps de les mesures és irregular, arribant en alguns casos a períodes de temps llargs de fins més d'una hora i en d'altres a pocs minuts. Això significa que entre diferents mesures és pot haver perdut informació, com per exemple que s'hagin encès les bombes provocant variacions al nivell i aquestes no hagin set mesurades.
- Que les mesures de nivell tinguin un error (no ho podem avaluar ja que no sabem amb quin sensor s'han mesura ni la precisió). Amb el càlcul de la demanda aquest error pot propagar-se sent prou important per afectar en el càlcul, ja que resultaria amplificat per un factor que depèn de la secció del dipòsit i del interval de temps entre mesures.

Per calcular una demanda nova suposarem que el cabal d'entrada al dipòsit es constant durant el dia i corresponent a la mitjana diària del cabal de les bombes (uns 16,9 m<sup>3</sup>/h). A la gràfica següent es pot veure la demanda modificada del dipòsit de Costa-rodona i el nou consum calculat de St. Joan on no apareixen canvis bruscos en el consum.

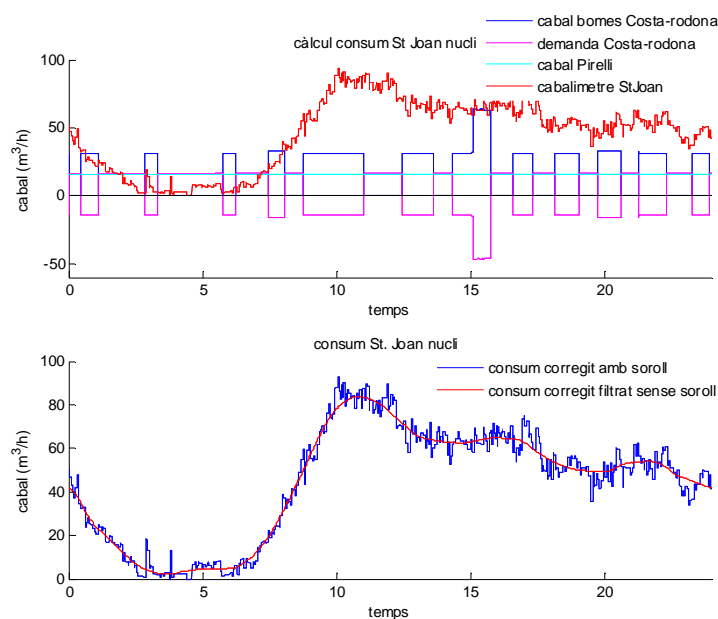


figura 27

*Consums del nucli de Sant Joan i variables que intervenen en el seu càlcul*

## 9 Consums dels sectors modificats

A continuació es mostren les noves demandes de cada un dels sectors. Aquestes demandes calculades a partir de les dades mesurades i les suposicions explicades en apartats anteriors contenen una variabilitat en els resultats provocada per errors en les mesures i pel remostrejat. Per eliminar la variabilitat cal utilitzar models estadístics de regressió. Hi ha dos tipus de models:

- Models paramètrics: com per exemple una regressió polinòmica. Són adequats quan es coneix la relació existent entre les dades mesurades.
- Models no paramètrics: a diferència dels models paramètrics no es pren la hipòtesi d'una relació de la distribució de les variables conegudes sinó que aquesta relació es construeix d'acord a la informació derivada de les dades. Les tècniques no paramètriques més conegudes són les xarxes neuronals, la regressió local polinòmica, les splines, etc.

Per obtenir unes dades de consums suavitzades s'ha utilitzat la regressió local polinòmica.

El procés de suavitzat és local ja que cada valor suavitzat es determina només amb els punts d'un interval determinat, el valor d'aquest entorn s'anomena paràmetre de suavitzat,  $h$ .

El procés de suavitzat de regressió local segueix els següents passos per cada punt:

1. Calcula els pesos de cada punt en l'interval. Els punts més propers al punt d'estimació tenen un pes més gran. Els punts fora del interval no intervenen. Els valors atípics de la regressió se'ls assigna un pes inferior. El pes és zero si els les dades estan fora de sis desviacions absolutes mitjanes.
2. Es realitza una regressió de mínims quadrats lineal ponderada. La regressió utilitza un polinomi de primer grau.
3. El valor suavitzat està donat per la regressió ponderada en el punt d'estimació.

La selecció del paràmetre de suavitzat influeix directament en la corba estimada que s'obté. Si és molt baix, només les observacions pròximes al punt d'estimació intervindran en el càlcul del estimador, descrivint comportaments molt locals però obtenint una corba estimada molt variable. Per contra si el paràmetre de suavitzat és gran les estimacions en cada punt es veuran afectades per observacions en

punts allunyats de forma que no es descriuran bé els comportament locals y s'obindrà una corba amb poca variabilitat.

La influencia que té el paràmetre de suavitzat es pot observar en els següents figures:

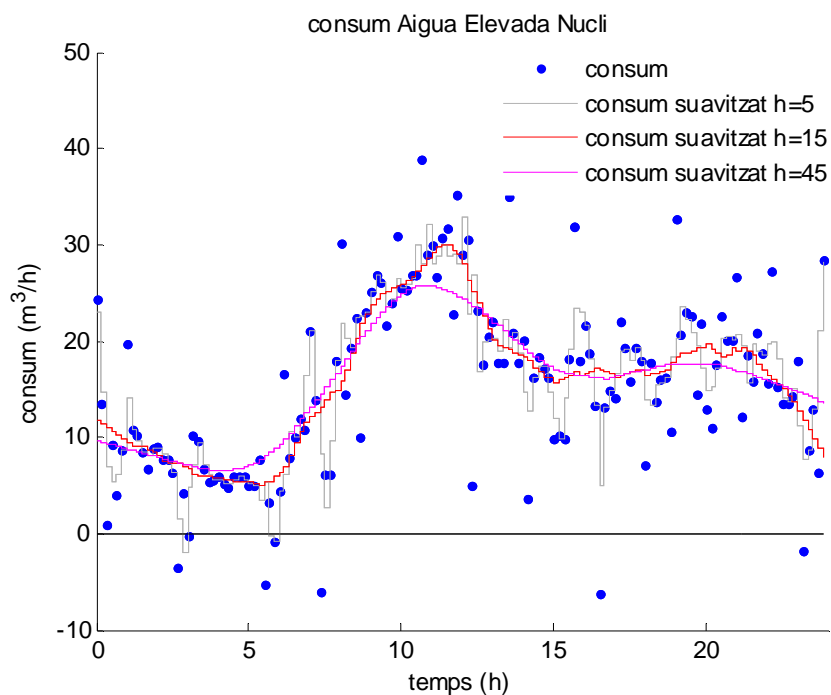


figura 28

*Influencia del paràmetre de suavitzat en el consum d'Aigua Elevada Nucli*

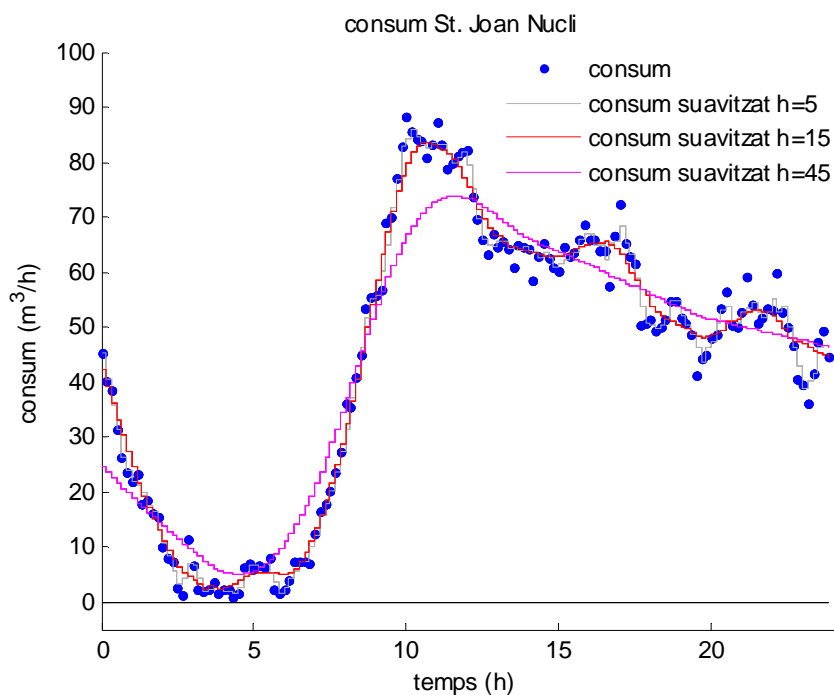


figura 29

*Influencia del factor de suavitzat en el consum de St. Joan Nucli*

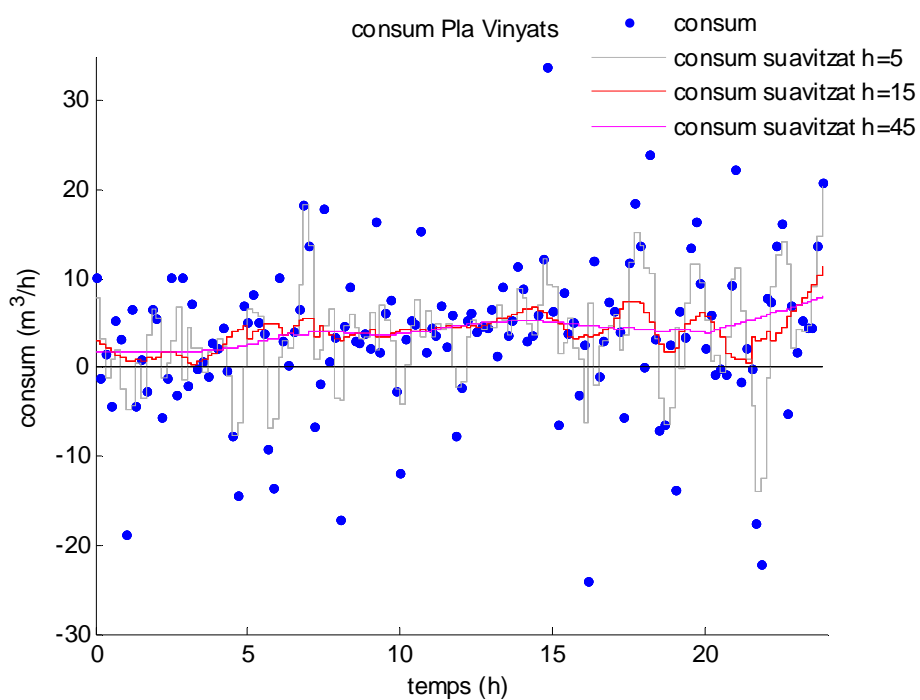


figura 30 *Influència del factor de suavitzat en el consum de Pla de Vinyats*

Per tots els casos seleccionarem la corba amb el paràmetre de suavitzat  $h=15$ .

A continuació és mostren els consums dels sectors i el consum total de la xarxa:

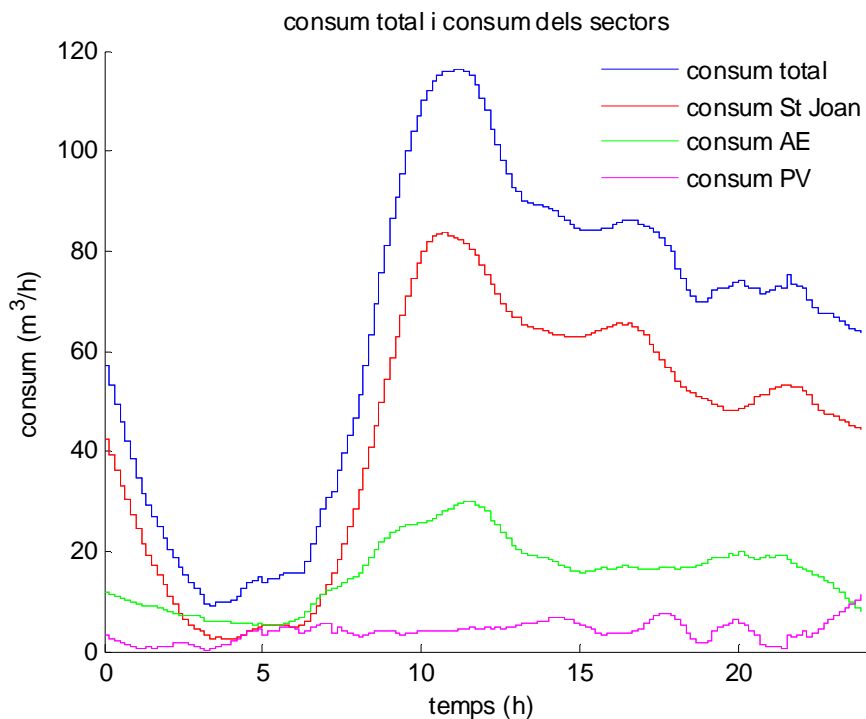


figura 31 *Consums dels sectors i consum total*

Com es pot observar el sector de St. Joan és el que més consum té en la majoria del dia, ja que és el que té més nombre de nodes seguit per Aigua Elevada i el polígon de Pla de Vinyats.

En la següent figura es representa el pes de la demanda de cada sector respecte la demanda total. Durant la nit és significatiu com el sector d'Aigua Elevada consumeix més que el de St. Joan tot i tenir menys nodes.

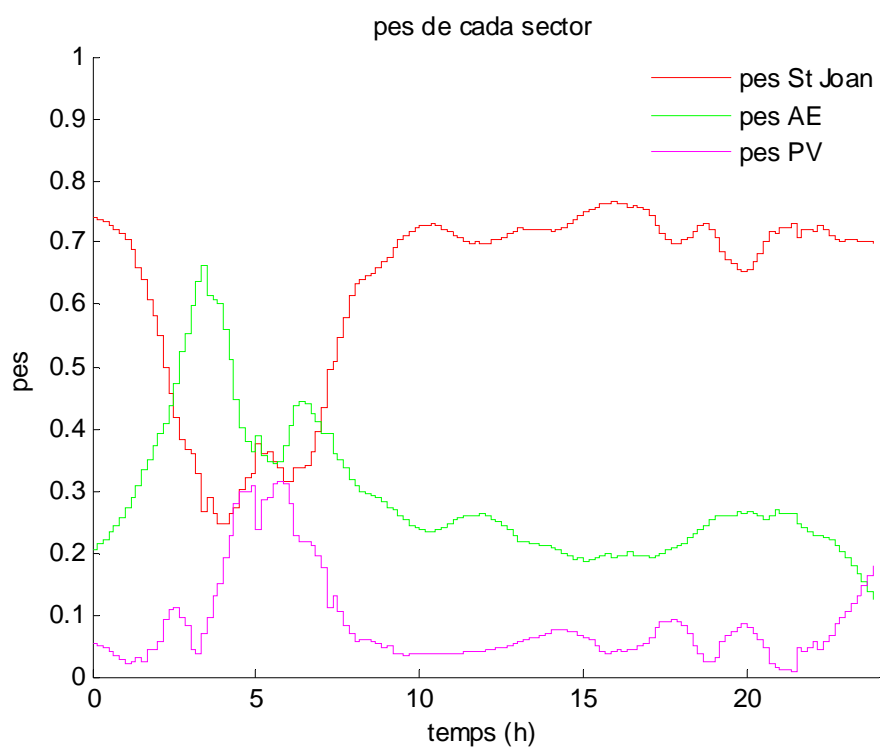


figura 32

*Pes de cada sector segons la demanda consumida respecte la total de la xarxa*

## 10 Model hidràulic modificat

A continuació és resumeixen els canvis que s'han realitzat al model hidràulic de la xarxa de distribució i en les dades de les mesures:

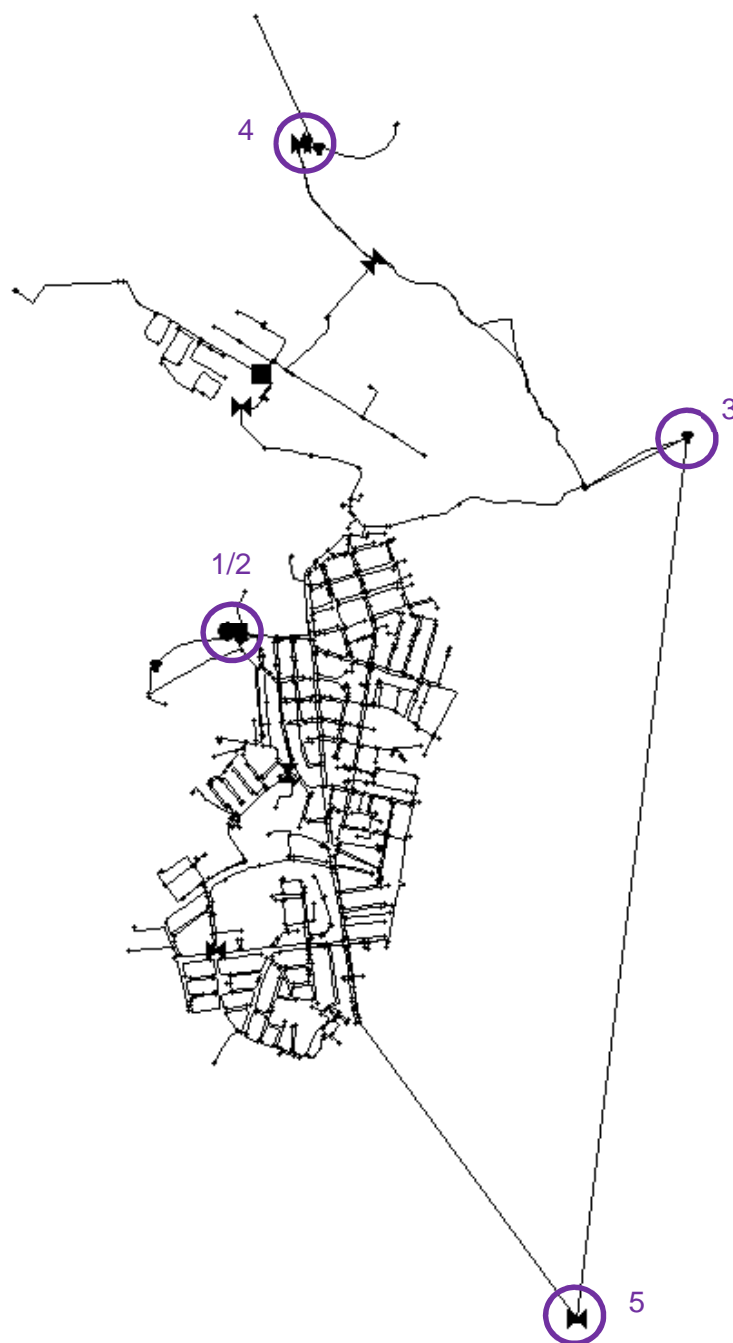


figura 33

*Modificacions en el model hidràulic i en les dades inicials*

1. S'ha modificat el cabal de les bombes sumat un offset de  $15\text{m}^3/\text{h}$  per evitar consums negatius a Aigua Elevada.
2. S'ha modificat la demanda del dipòsit com a conseqüència de suposar que el cabal d'entrada al dipòsit de Costa-rodona és constant.
3. S'ha suprimit el dipòsit de St. Joan. En el seu lloc hi ha un node, situat en la mateixa cota, amb una demanda negativa equivalent al cabal de sortida del dipòsit.
4. S'ha introduït un coeficient de pèrdues menors en la vàlvula 9, que uneix la canonada que alimenta Lledoners i la que alimenta el dipòsit de Mollet, per simular que està parcialment oberta.

Els consums globals de cada sector són els obtinguts amb la suavització realitzada en l'apartat anterior.

A continuació es mostra l'esquema de principi de la xarxa:

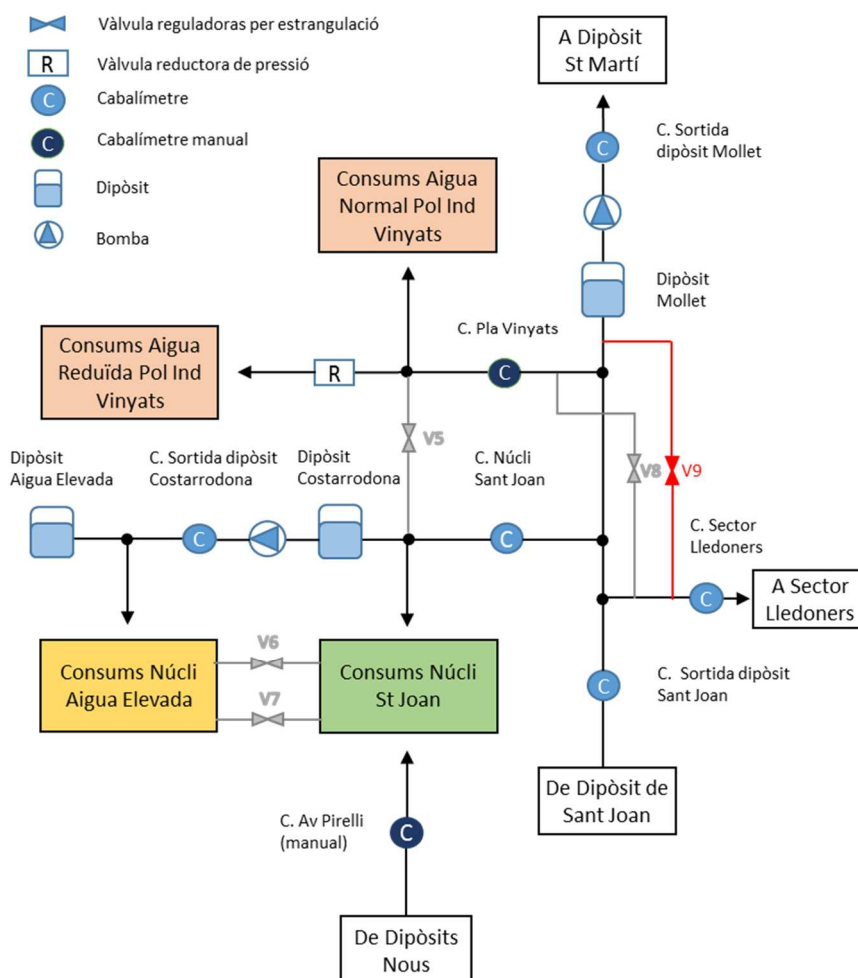


figura 34

*Esquema de la xarxa, la vàlvula 9 parcialment tancada ( no s'hi representa les vàlvules limitadores de cabal)*



## 10.1 Simulació

### 10.1.1 Demanda dels dipòsits

Les demandes del dipòsits similars en tots els dipòsits. A al dipòsit de Mollet, per l'efecte d'obrir parcialment la vàlvula 9, amb la qual el dipòsit pot rebre més aigua fent que la demanda simulada sigui molt similar a la real. Això significa que el nivell tb ho serà.

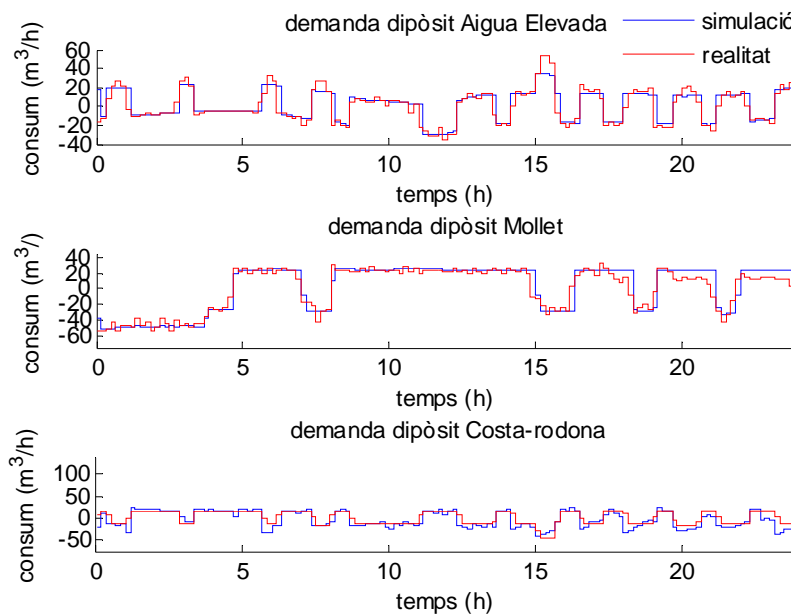


figura 35 *Demanda dels dipòsits*

### 10.1.2 Cabals

El cabal del cabalímetre de St. Joan nucli s'aproxima més al real ja que part de l'aigua que en l'anterior simulació anava al dipòsit de Costa-rodona ara omple el dipòsit de Mollet al facilitar el pas d'aigua per la vàlvula.

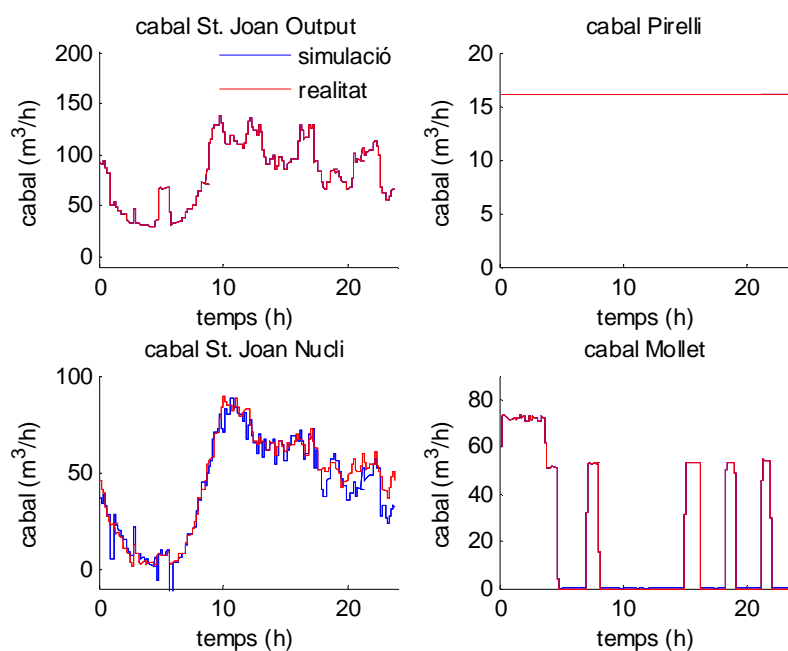


figura 36 Cabals sortida dipòsit St. Joan, cabal Pirelli, cabal St. Joan , cabal Mollet

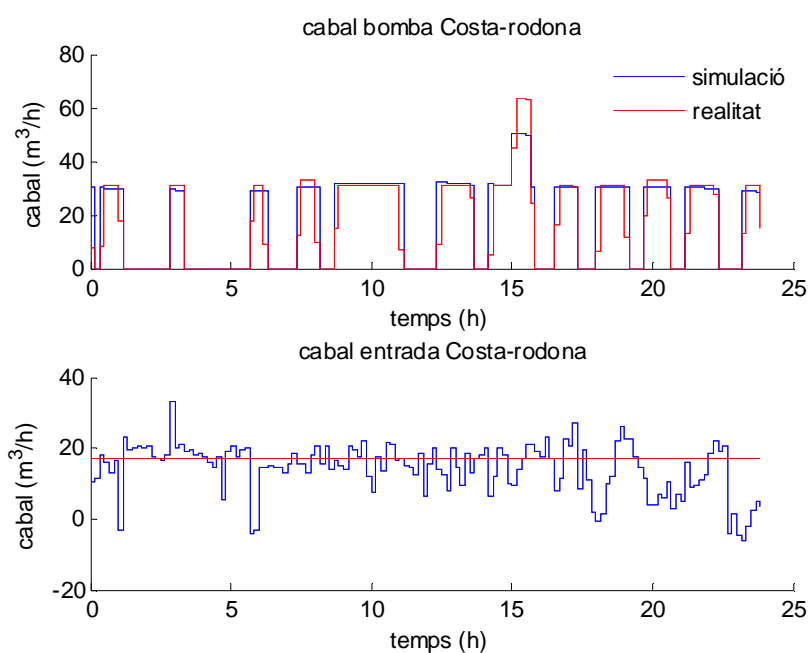


figura 35

figura 37 Cabal bomba de Costa-rodona

### 10.1.3 Nivell dels dipòsits

Els nivells dels dipòsits estan relacionats amb la demanda (figura 35), tots els nivells són similars al real. Costa-rodona perquè s'ha eliminat el dipòsit de St. Joan, Mollet per l'obertura de la vàlvula i el dipòsit de Mollet per la modificació de la corba de la bomba i per eliminar demandes negatives.

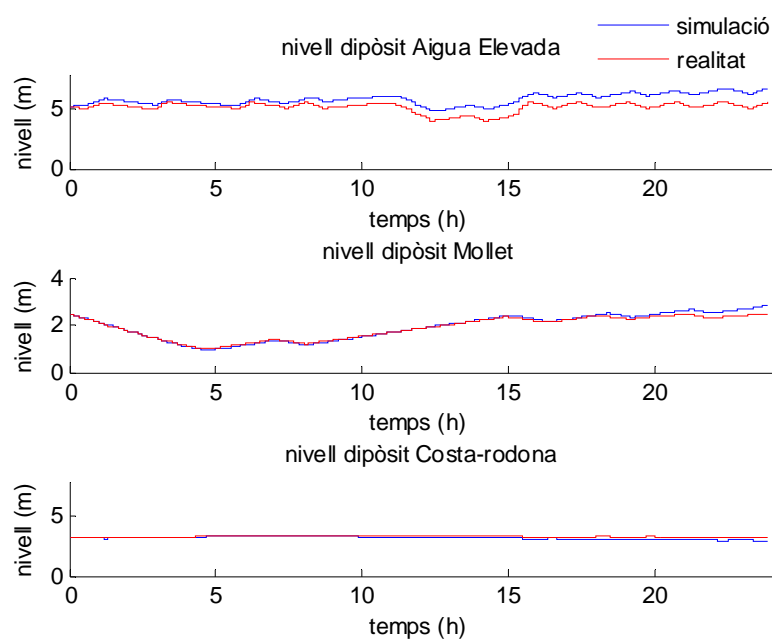


figura 38 *Nivells dels dipòsits*

#### 10.1.4 Consums dels sectors

Els consums són iguals ja que es una dada d'entrada.

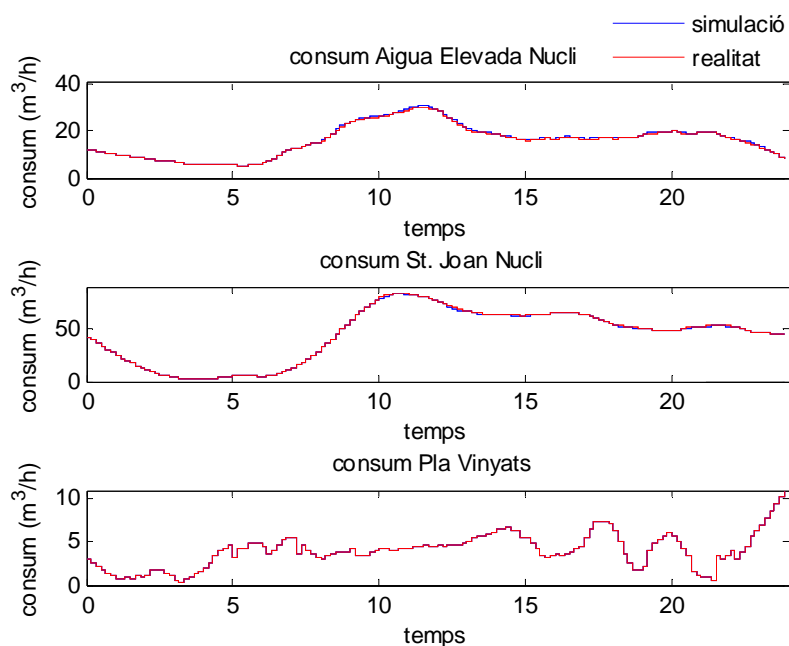


figura 39 *Consums dels sectors. El consum simulat i el consum real coincideixen.*

## 10.2 Conclusions

Els canvis en la corba de la bomba permeten obtenir un cabal simulat similar al real. La hipòtesi de que el cabal d'entrada al dipòsit de Costa-rodona és constant no es complex en la simulació. L'efecte que té en aquest model el tancar la vàlvula 9 al dipòsit de Costa-rodona es pot observar en la següent gràfica:

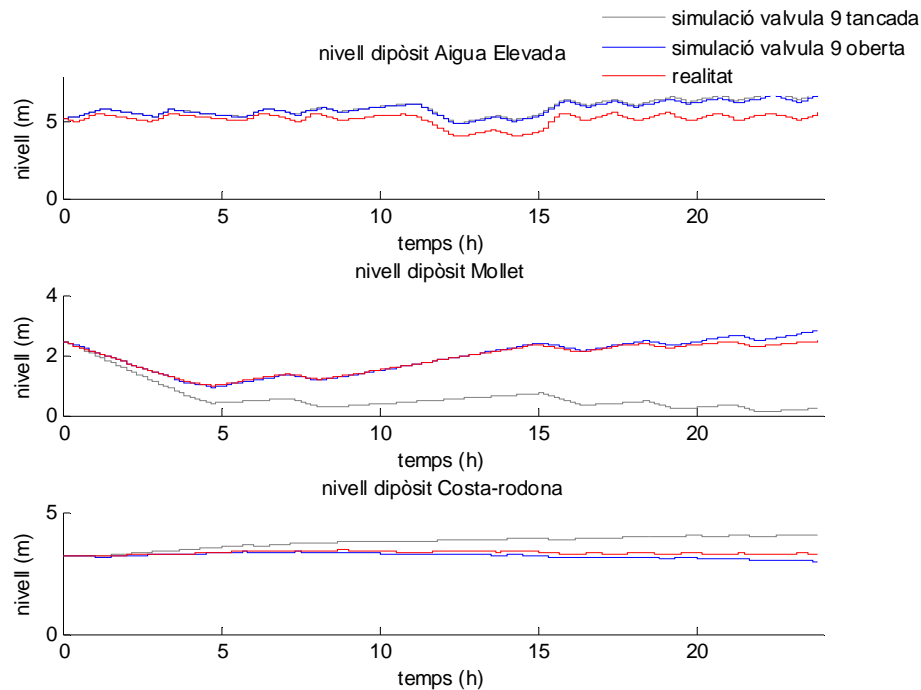


figura 40 *Comparació dels nivells dels dipòsits entre les simulacions fetes amb la vàlvula 9 tancada i parcialment oberta.*

El nivell d'Aigua Elevada pràcticament no varia, ja que el cabal de les bombes de Costa-rodona, tampoc o fa com es veu en la figura 41 . En obrir la vàlvula el nivell del dipòsit de Mollet s'omple, com a conseqüència de l'obertura de la vàlvula, fent que l'aigua que amb la vàlvula tancada omplia el dipòsit de Costa-rodona ara omple el de Mollet. El cabal d'entrada al dipòsit de Costa-rodona ha disminuït, ja que ara hi entra menys aigua.

Comparant aquest model hidràulic modificat amb l'inicial es pot comprovar com els resultats de la simulació són més fidels als de la realitat.

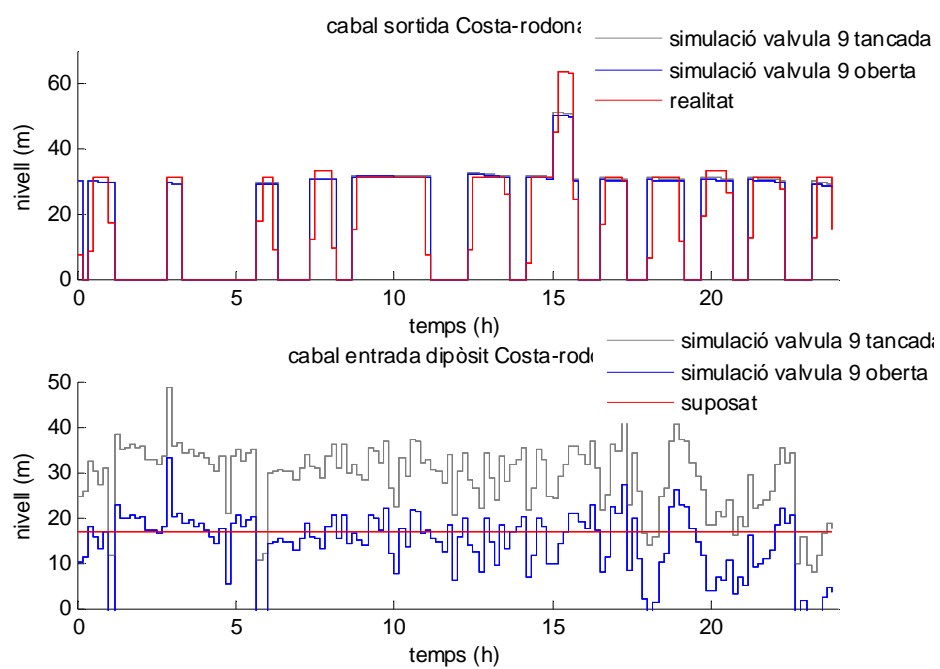


figura 41

*Cabal bombes Costa-rodona (sortida del dipòsit) i cabal d'entrada al dipòsit.*

## 11 Calibratge de les demandes

Les demandes als sectors estan calculades a partir de les dades de contorn de cada un d'ells, per tant no es contempla que pugui haver-hi emissor que simulin fuites. Les fuites són una demanda extra, a part del consum dels nodes, que depèn de la pressió i Epanet ho modela tal com s'indica en l'equació (2.1) que és mostra a continuació:

$$q = C p^\nu \quad (11.1)$$

On  $q$  és el cabal,  $p$  la pressió,  $C$  el coeficient emissor i  $\nu$  l'exponent de la pressió. El procés de calibratge compara els valors obtinguts en la simulació amb els valors reals, que són els valors de referència, i mitjançant una optimització busca els coeficients que millor ajusten les demandes.

### 11.1 Optimització

L'optimització consisteix en minimitzar una funció objectiu sotmesa a unes restriccions. La funció objectiu té com a variables d'entrada un vector  $C$  de coeficients emissors i retorna el valor de l'error (EMC) avaluat en  $C$ . El procés d'optimització busca el valor de  $C$  que fa mínim  $EMC$ .

L'optimització s'ha realitzat mitjançant algorismes genètics de la toolbox de Matlab Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox. La funció objectiu és un arxiu `.m` que rep com a variable d'entrada un vector la dimensió del qual és igual al nombre de variables independents de la funció objectiu i retorna un escalar (6).

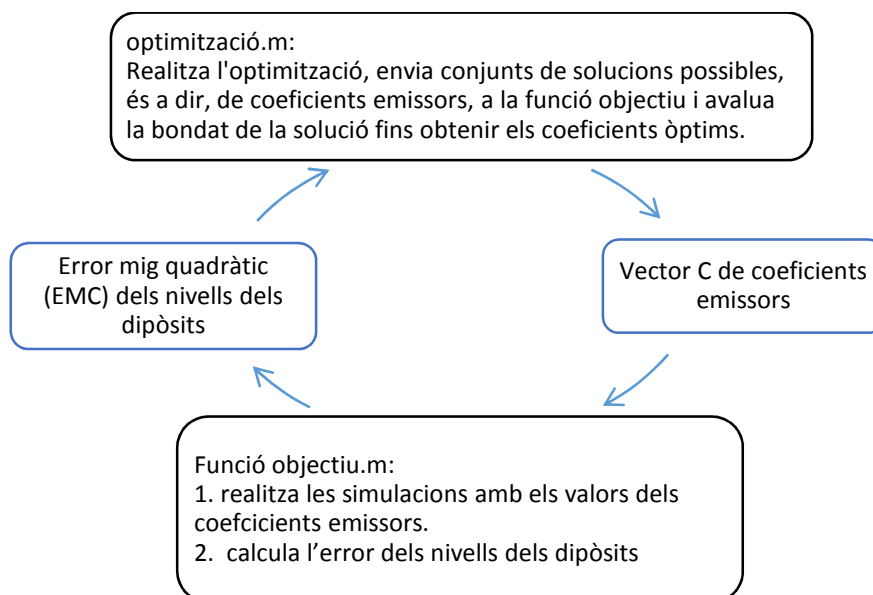


figura 42

Esquema de com treballa el procés d'optimització

### 11.1.1 Algorismes genètics

Un algorisme genètic és un mètode per solucionar problemes d'optimització basant-se en el procés de la selecció natural que imita la evolució biològica. Aquest algorisme modifica repetidament una població de solucions individuals. En cada cas, l'algorisme genètic selecciona individus de la població actual aleatòriament i els utilitza com parels per produir els fills de la següent generació. Després de varies generacions successives, la població evoluciona cap a una solució òptima.

Els algorismes genètics es poden aplicar per solucionar problemes que no s'adapten bé als algorismes d'optimització estàndard, inclosos aquells problemes en els quals la funció objectiu és discontinua, no diferenciable, estocàstica o altament no lineal.

En la taula següent es resumeixen les dues principals diferències entre els algorismes genètics i els algorismes clàssics basats en derivades:

Algorisme clàssic	Algorisme Genètic
Genera un únic punt en cada iteració. La seqüència de punts s'aproxima a una solució òptima	Genera una població de punts en cada iteració. El millor punt de la població s'aproxima a una solució òptima.
Selecciona el següent punt de la seqüència mitjançant un càlcul determinista.	Selecciona la següent població mitjançant un càlcul que utilitza generadors de números aleatoris.

*Taula 3: Principals diferències entre algorismes genètics i algorismes clàssics (6)*

A continuació es mostra l'esquema de com treballa un algorisme genètic:

1. L'algorisme comença creant una població inicial aleatòria, és a dir, un conjunt de solucions.
2. L'algorisme crea una seqüència de noves poblacions o generacions.  
En cada pas, l'algorisme utilitza els individus de la generació actual per crear la pròxima generació. Per crear la nova generació, l'algorisme realitza els següents passos:
  - a. Avaluació: puntua cada membre de la població actual, calculant el valor de la funció objectiu.
  - b. Recombinació o creuament: consisteix en combinar aleatòriament dos membres de la població per generar una nova generació amb les característiques dels pares.
  - c. Mutació: modifica aleatòriament part de les característiques dels nous individus.

- d. Reemplaçament: és seleccionen els millors individus per la generació següent.

### 11.1.2 Funció objectiu

La funció objectiu té com a variables d'entrada els coeficients emissors i retorna l'error mig quadràtic dels nivells dels dipòsits. Tal com s'ha indicat la funció objectiu és un arxiu .m que realitza el següent algorisme:

1. Rep les dades inicials: coeficients emissors
2. Algorisme de simulació amb coeficients emissors: es realitza la simulació i s'obtenen les demandes i s'obtenen els cabals i els nivells dels dipòsits..
3. Càlcul de l'error quadràtic mig dels nivells dels dipòsits, que es defineix com:

$$ECM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_n (h_{real} - h_{simulat})^2} \quad (11.2)$$

On  $h_{real}$  és el nivell real dels dipòsits i  $h_{simulat}$  el nivell dels dipòsits obtinguts en la simulació. La funció a minimitzar en funció dels coeficients òptims és la suma dels errors dels nivells dels dipòsits:

$$ECM_{total} = ECM_{AE} + ECM_C + ECM_M \quad (11.3)$$

Les restriccions defineixen els valors màxims i mínims que poden prendre els coeficients emissors. Els coeficients mínims són zero i els coeficients màxims:

$$\begin{aligned} C_{STmax} &= 0,0006 \\ C_{AEmax} &= 0,005 \\ C_{PVmax} &= 0,003 \end{aligned} \quad (11.4)$$

Les restriccions es defineixen amb la següent desigualtat:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_{ST} \\ C_{AE} \\ C_{PV} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} C_{STmax} \\ C_{STmin} \\ C_{AEmax} \\ C_{AEmin} \\ C_{PVmax} \\ C_{PVmin} \end{bmatrix} \quad (11.5)$$

### 11.1.3 Simulació amb coeficients emissors

Per poder tenir en compte emissors als sectors utilitzarem un model que es basa en el repartiment de les fuites totals de la xarxa en funció del pes dels sectors. En



aquest procés es necessari realitzar dues simulacions una per obtenir les demandes simulades (amb emissors) amb les que es calcularan les fuites de cada sector i les demandes i la segona per obtenir els resultats amb les noves demandes.

L'algorisme de simulació consta dels següents passos:

- Primer pas: realitzar la primera simulació amb coeficients emissors, un per cada sector. Obtenim la demanda simulada que inclou el consum real i el consum provocat pels emissors.
- Segon pas: obtenció de les fuites. Les fuites de cada sector s'obtenen fent la diferència entre la demanda simulada i la demanda real.

$$f_i = d_{sim i} - d_{real} \quad (11.6)$$

- Tercer pas: càlcul de les fuites totals de la xarxa:

$$f_{total} = f_{SJ} + f_{AE} + f_{PV} \quad (11.7)$$

- Quart pas: obtenció de les noves demandes. Les fuites totals es reparteixen per cada sector segons el pes que aquests tenen en la demanda total de la xarxa. La diferència entre la demanda real i les fuites totals de la xarxa repartides per cada sector segons el pes que aquests tenen en la demanda total de la xarxa és la demanda amb la que es calcularan els consums dels nodes.

$$d'_i = d_{i real} - f_{total} \cdot p_i \quad (11.8)$$

- Cinquè pas: realitzar la segona simulació amb les demandes calculades al pas anterior. Obtindrem els nivells dels dipòsits, cabals i consums simulats.

Les simulacions que es realitzen són iguals que les realitzades anteriorment amb la diferència que ara s'afegeix un coeficient emissor en els nodes dels sectors. La incorporació dels emissors afecta al comportament de la xarxa de manera que els cabals i els nivells dels dipòsits simulats varien en funció del valor dels coeficients emissors.

L'objectiu és observar variacions als nivells simulats dels dipòsits degut a la incorporació dels emissors. Els coeficients òptims són aquells que minimitzen l'error entre el nivell simulat i el real.

## 11.2 Resultats

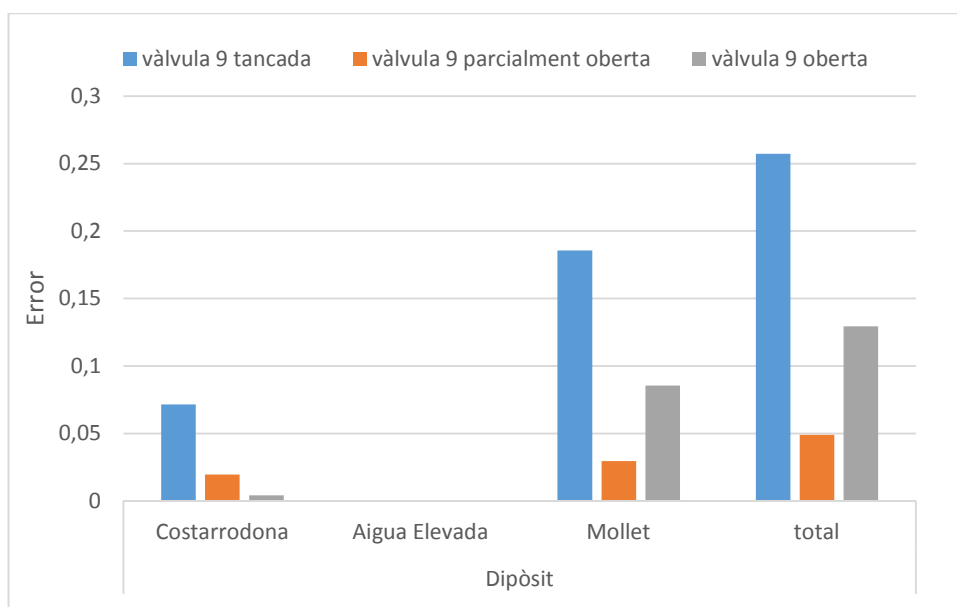
En la taula següent es mostren diversos resultats d'optimitzacions de coeficients

emissors que minimitzen l'error dels nivells dels dipòsits. Les optimitzacions s'han realitzat per diversos estat de la vàlvula 9, amb l'objectiu d'observar com varia l'error mig en els nivells dels dipòsits.

estat	coeficients emissors òptims			EMC			
vàlvula	C <sub>StJ</sub>	C <sub>AE</sub>	C <sub>PV</sub>	C	AE	M	total
tancada	$4,11 \cdot 10^{-4}$	0,0035	0,00270	0,0715	$7,7 \cdot 10^{-8}$	0,1857	0,2572
parcialment oberta	$6,02 \cdot 10^{-4}$	0,0034	0,00287	0,0196	$4,2 \cdot 10^{-8}$	0,0295	0,0491
oberta	$4 \cdot 10^{-4}$	0.0028	0.0027	0.0437	$6,6 \cdot 10^{-3}$	0.0855	0.1358

Taula 4: Coeficients emissors òptims

La taula anterior en forma de gràfic es mostra a continuació:



Taula 5: Comparativa d'error mig als dipòsit depenen del estat de la vàlvula 9

Del que n'extraïem les següents conclusions:

- L'obertura parcial de la vàlvula fa disminuir molt l'error mig al dipòsit de Mollet, com ja s'observa a la figura 40 com el dipòsit s'omple més segons l'estat de la vàlvula.
- El coeficient a St. Joan sempre és més petit que el dels altres sectors, ja que té un nombre molt més gran de nodes.
- L'error al dipòsit d'Aigua Elevada es pràcticament nul en tots els casos.

### 11.3 Simulació amb els coeficients emissors òptims

En aquest apartat es realitzarà el procés de simulació amb els coeficients emissors òptims en el cas que la vàlvula estigui parcialment oberta.

En la primera simulació és realitza amb els consums calculats a partir de les dades de contorn (consum inicial, corba roja de la figura 43 ) i n'obtenim el consum simulat (corba magenta). A partir d'aquestes es calculen les fuites que es reparteixen segons el pes de cada sector (fuites, corba grisa). La resta entre la corba roja i la grisa representa el consum de cada sector (consum sense fuites, corba blava). El consum sense fuites serà la demanda de cada sector en la segona simulació, que es repartirà a cada node segons la demanda base de cada un.

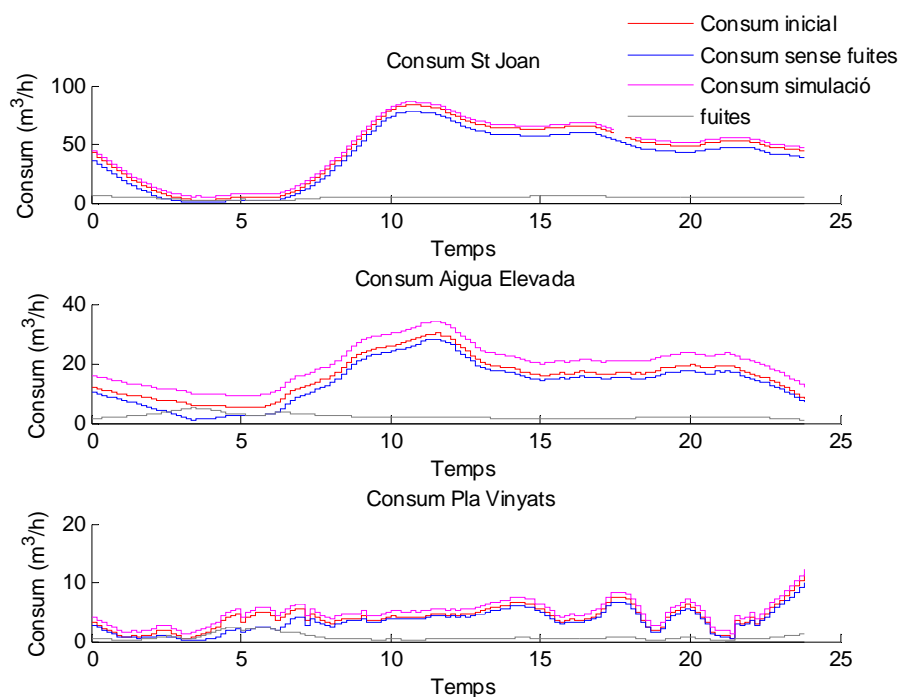


figura 43 *Consums inicials, consums simulats, consums sense fuites, fuites repartides segons el pes de la demanda de cada sector.*

En la segona simulació s'obté els nivells i demandes dels dipòsits, els cabals i els consums simulats.

### Demanda dels dipòsits

En tots els casos la demanda simulada i la real tenen un comportament molt similar, fet que indica que els nivells també seran similars.

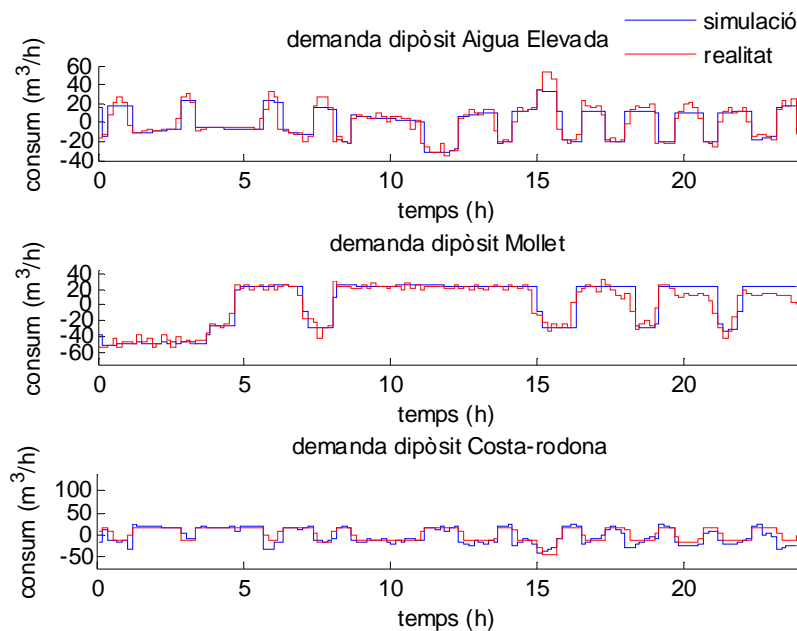


figura 44

Demanda dels dipòsits

### Cabals

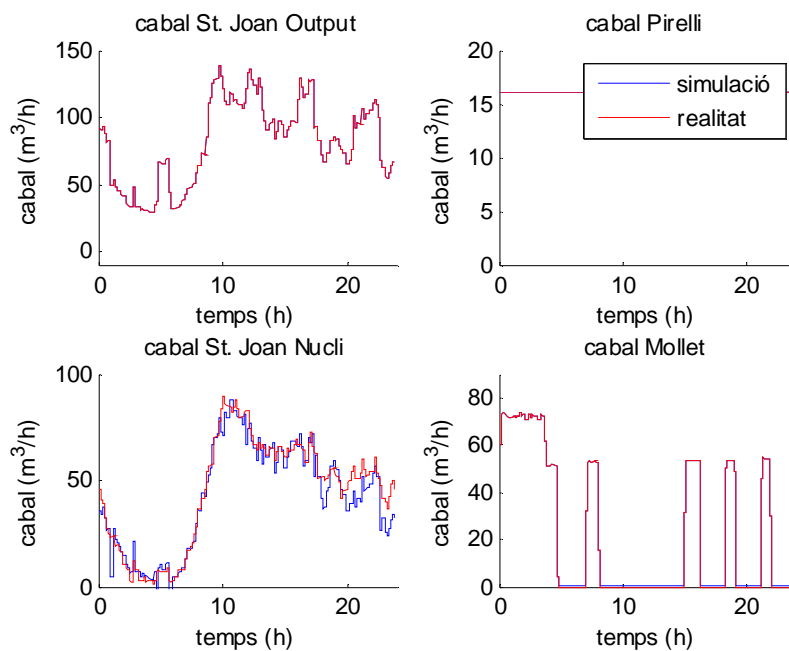
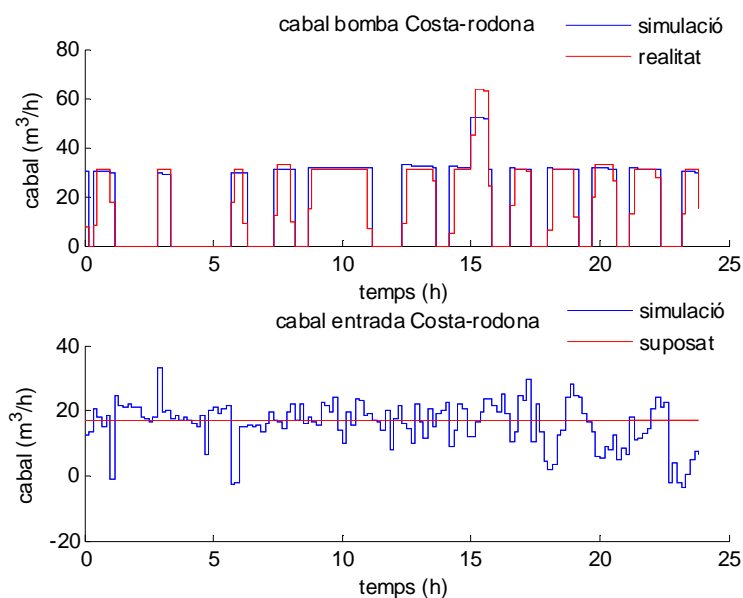


figura 45

Cabals sortida dipòsit St. Joan, cabal Pirelli, cabal St. Joan , cabal Mollet

Els cabals a la sortida del dipòsit de St. Joan, de Pirelli i a la sortida del dipòsit de Mollet són cabals fixats, per tant el cabal real i el simulat són idèntics. El cabal simulat al cabalímetre St. Joan Nucli segueix la mateixa tendència que la realitat amb algunes lleugeres variacions. Això és deu a que la demanda (per tant també el nivell) del dipòsit de Costa-rodona són similars a la realitat.



12

figura 46

*Cabal bomba de Costa-rodona*

### Nivell dels dipòsits

El comportament dels dipòsits es pràcticament idèntic en la simulació i en la realitat.

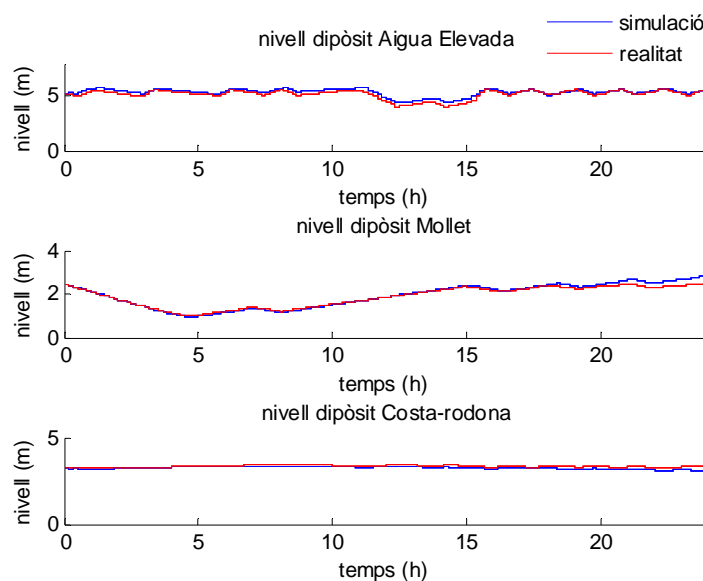


figura 47

*Nivells dels dipòsits*

### Consums dels sectors

Els consums de la realitat són els obtinguts a partir de les dades de contorn. Els consums simulats són lleugerament diferents i inclouen la demanda extra dels emissors.

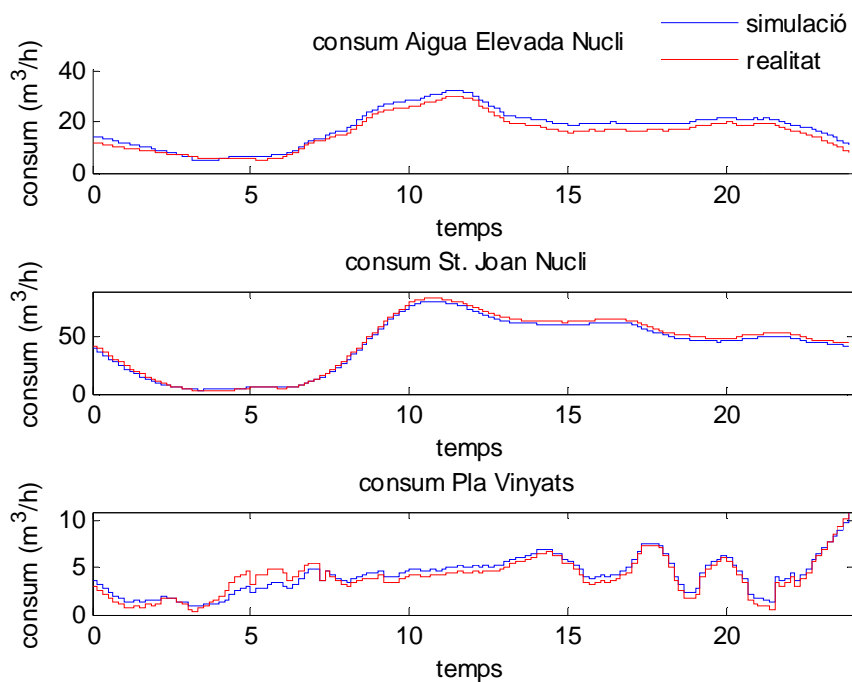


figura 48 Consums dels sectors. El consum simulat i el consum real coincideixen.

## 11.4 Conclusions

En la següent taula es compara l'error quadràtic dels nivells dels dipòsits de la simulació amb els coeficients emissors òptims que minimitzen l'error mig dels nivells dels dipòsits i de la simulació que es realitza sense emissors en el capítol 10:

dipòsit	error quadràtic mig	
	sense emissors	amb emissors òptims
Aigua Elevada	0,0964	$4,2 \cdot 10^{-8}$
Mollet	0,0292	0,0295
Costa-rodona c	0,0271	0,0196
total	0,1527	0,0491

Taula 6: Erros quadràtics dels dipòsits per diferents models de demandes

El dipòsit d'Aigua Elevada millora molt, com a conseqüència dels emissors, que augmenten el consum del nucli, amb la qual el nivell del dipòsit baixa respecte si no hi ha emissors. El dipòsit de Mollet pràcticament es manté igual, ja que la variació dels consums degut als coeficients emissors pràcticament no afecta al seu comportament. L'element que afecta més al comportament del dipòsit de Mollet és l'estat en que es troba la vàlvula. El cas on l'error és menor, és amb la vàlvula 9 parcialment oberta.

El dipòsit de Costa-rodona també millora en la simulació amb els coeficients emissors òptims. Cal dir que l'estat de la vàlvula 9 també afecta al nivell del dipòsit.

En la següent gràfica es compara els nivells dels dipòsits obtinguts a la simulació amb coeficients emissors òptims (simulació optimitzada) i els obtinguts en la simulació sense emissors (simulació no optimitzada) corresponents a la simulacions del l'apartat 11.1.3 i 10.1 respectivament.

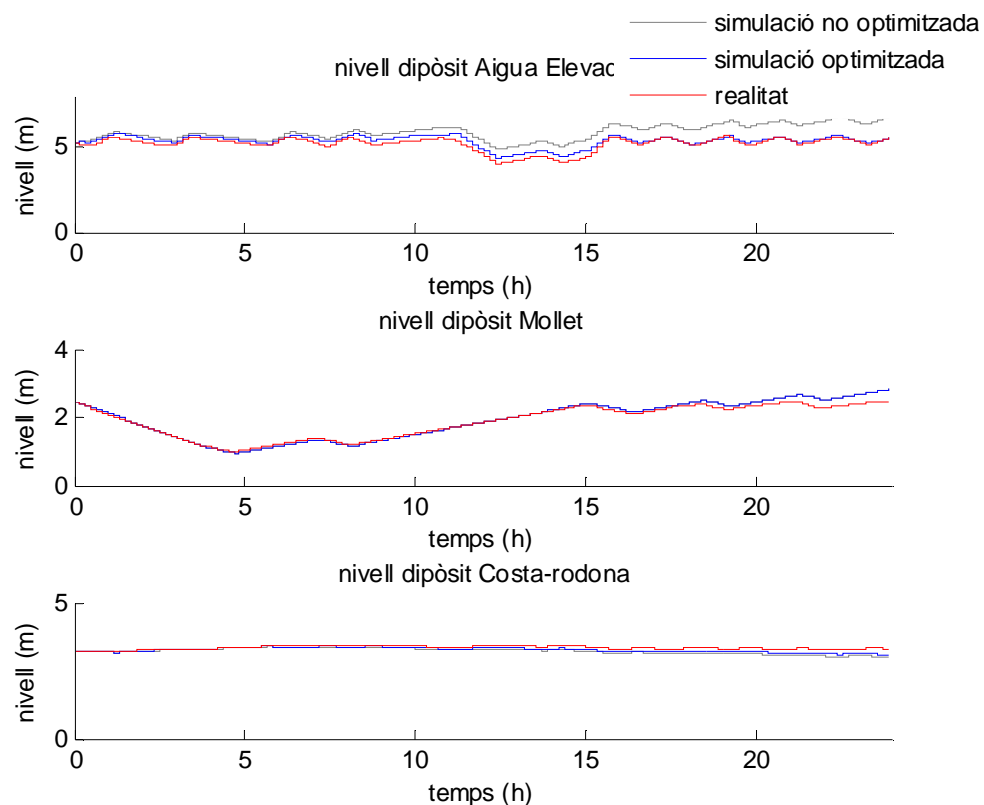


figura 49

*Comparació dels nivells dels dipòsits entre les simulacions fetes amb emissors i sense.*

## 12 Conclusions de l'estudi

A continuació és resumeixen els canvis que s'han realitzat al model hidràulic de la xarxa de distribució i en les dades de les mesures amb l'objectiu

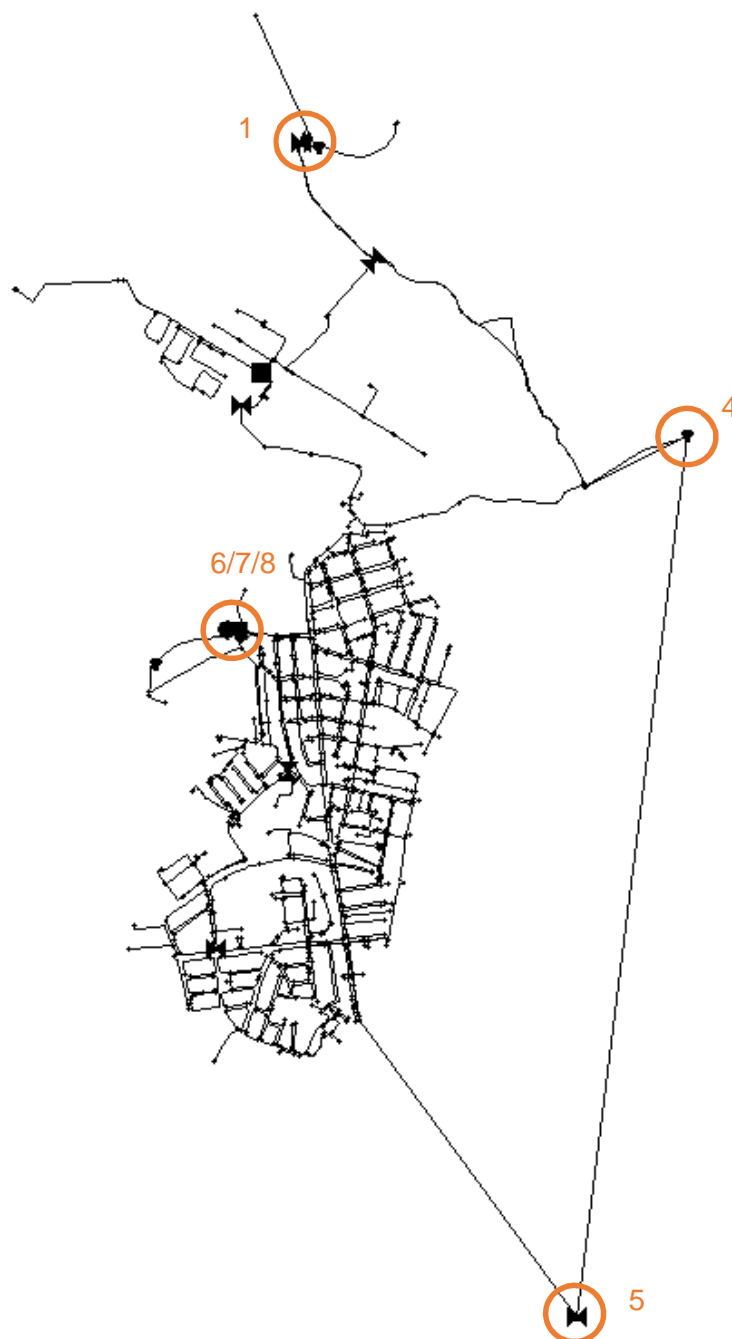


figura 50

*Modificacions en el model hidràulic i en les dades inicials*



Els canvis anterior tenen com a objectiu millorar els resultats obtinguts en la primera simulació (capítol 6 Model hidràulic inicial).

A continuació es resumeixen els canvis efectuats en el model hidràulic i en les dades, senyalats en la figura anterior:

1. S'ha introduït un coeficient de pèrdues menors en la vàlvula 9, que uneix la canonada que alimenta Lledoners i la que alimenta el dipòsit de Mollet, per simular que està parcialment oberta.
2. En el model d'Epanet els dipòsits de Sant Joan no es representa. En el seu lloc hi ha un node, situat en la mateixa cota, amb una demanda negativa equivalent al cabal de sortida del dipòsit.
3. En aquest model els punts d'alimentació de la xarxa es representen com un embassament amb una vàlvula limitadora de caudal que alimenta el cabalímetre de l'Avinguda Pirelli i el node que simula la sortida del dipòsit de St. Joan.
4. Els dipòsits de Costa-rodona es representen com un sol dipòsit equivalent.
5. S'ha modificat el cabal de les bombes sumant un offset de  $15\text{m}^3/\text{h}$  per evitar consums negatius a Aigua Elevada.
6. S'ha modificat la demanda del dipòsit com a conseqüència de suposar que el cabal d'entrada al dipòsit de Costa-rodona és constant degut a que es comptava amb molt poques dades.
7. S'ha modificat la corba de la bomba de Costa-rodona amb l'objectiu d'obtenir un cabal simulat similar al real.

L'esquema de principi de la xarxa és el de la figura 34 . El dipòsit de St. Joan s'elimina i en el seu lloc es fica una demanda negativa ja que és coneix el cabal a la sortida del dipòsit, obtenint millors resultats en els nivells dels altres dipòsits.

En el model de demandes es considera constant el cabal de l'avinguda Pirelli, ja que no es coneix com varia durant el dia. Aquest fet pot provocar que durant la nit estiguéssim aportant més aigua de la necessària i durant el dia podria passar l'efecte contrari de manera que pot afectar al comportament dels dipòsits.

Totes les simulacions es realitzen mitjançant la formula de Darcy-Weisbach ja que es disposen les dades de rugositat de totes les canonades i perquè els paràmetres necessaris per utilitzar la formula de Hazen-Williams només els podríem estimar.

Un dels problemes principals era que l'existència de demandes negatives en alguns instants de temps. La causa d'aquestes demandes era per culpa del soroll de les dades mesurades i errors de mesura, que en alguns instants provocava l'existència de demandes negatives. Un adequat tractament de dades per eliminar la variabilitat de les mesures basat en models de regressió no paramètrics permet obtenir corbes de consums sense valors negatiu.

Les dades del nivell mesurat al dipòsit de Costa-rodona no es consideren vàlides pel fet de disposar de poques mesures, repartides de forma irregular, les quals poden afectar al càlcul dels consums dels sectors.

S'observa que s'obtenen millors resultats en els nivells dels dipòsits de Mollet i Costa-rodona si s'introdueix un coeficient de pèrdues menors a la vàlvula 9, simulant una vàlvula parcialment oberta.

Al capítol 11, mitjançant el calibratge del model de demandes amb emissors, s'obtenen els coeficients emissor òptims, que representen una demanda extra en funció de la pressió, amb els quals es minimitza l'error dels nivells dels dipòsits.

Cal remarcar que es podrien obtenir millor resultats si es disposessin de més dades en alguns sensors. No es coneixen lleis de control de dipòsits ni de les bombes, que es suposa que tenen tres estats, apagades, una bomba encesa i dues bombes enceses.

## 13 Bibliografia

1. **Rossman, Lewis A.** *EPANET 2 Users Manual*. s.l. : Water Supply and Water Resources Division, Nation Risk Management Research Laboratory, 2000.
2. **Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia.** [www.instagua.upv.es](http://www.instagua.upv.es). [En línia] <http://www.instagua.upv.es/Epanet/>.
3. **EPA Unitet States Environmental Protection Agency.** [www.EPA.gov](http://www.epa.gov). [En línia] <http://www.epa.gov/NRMRL/wswrd/dw/epanet.html>.
4. **Sanz Estapé, Gerard.** *HydroSimulator v4.2 Quick Guide*. Terrassa : SAC-UPC, 2013.
5. **Gerard, Sanz Estapé i Pérez Magrané, Ramon.** <http://hdl.handle.net/2099.2/3731>. [En línia] UPC, 3 / 6 / 2014.
6. **The MathWorks.** *Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox User's Guide*. s.l. : The MathWorks, Inc., 2004.
7. *Limitations and proper use of the Hazen-Williams equation.* **Locher, Frederick A.** Vol. Journal of Hydraulic Engineering.
8. **Sanz Estapé, Gerard i Pérez Magrané, Ramon.** *Estudi de l'aïllament de fuites d'Aigua En funció del calibratge de les demandes*. Terrassa : UPC, 2011.
9. *Operational Control of Water Systems: structures, algorithms and applications*. **Bryds, M.A. i Ulanicki, B.** s.l. : Prince Hall International, 1994.
10. **Walski, T, et al.** *Water Distribution Modeling and Management*. s.l. : Heastad Press, 2003.
11. **Manresa, Aigues de.** *Model hidràulic i dades de nivells de dipòsits i cabalímetres de la xarxa de Sant Joan de Vilatorrada*.

# PRESSUPOST

---

Desglossament dels costos de l'elaboració del projecte.

Concepte	Quantitat	Preu unitari €	Preu total €
Estudis previs i documentació	75	20	1500
Estudi de la xarxa	125	20	2500
Elaboració de la documentació	100	20	2000
Software utilitzat			0
Material d'oficina			50
		Preu	6050
		IVA 21%	1270.5
		Preu Total	7320.5

# ANNEXES

---

## A1. Comparativa entre Darcy-Weisbach i Hazen-Williams

Les rugositats originals estaven definides segons la fórmula Darcy-Weisbach. Cal calcular-les per Hazen-Williams o canviar les opcions del .inp a Darcy-Weisbach. Si la conversió és directa, mantindrem el sistema de simulació utilitzat fins ara (HW).

### A1.1 Pèrdues de càrrega lineals

Les pèrdues d'energia lineals en una instal·lació hidràulica són una manifestació de la resistència associada al flux del fluid hidràulic deguda a les parets de la canonada.

El mètode que utilitza EPANET per calcular les pèrdues entre el node inicial i final en una canonada és:

$$h_L = A \cdot q^B \quad (\text{A1.1})$$

on  $h_L$  són les pèrdues,  $A$  el coeficient de resistència,  $q$  el cabal i  $B$  l'exponent del cabal. Tant el coeficient de resistència com l'exponent del cabal depenen del mètode utilitzat per calcular les pèrdues.

### A1.2 Fórmula de Darcy-Weisbach

El coeficient de resistència de Darcy-Weisbach es defineix com:

$$A_{DW} = \frac{8}{g \cdot \pi^2} \cdot f \cdot \frac{L}{d^5} \quad (\text{A1.2})$$

on  $L$  és la longitud de la canonada,  $d$  el seu diàmetre i  $f$  el factor de fricció. L'exponent de caudal es 2. Per tant, en funció del cabal, l'expressió de Darcy Weisbach és:

$$h_L = \frac{8}{g \cdot \pi^2} \cdot f \cdot \frac{L}{d^5} \cdot q^2 \quad (\text{A1.3})$$

també és habitual trobar les pèrdues en funció de la velocitat:

$$h_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{A1.4})$$

El factor de fricció es calcula de diferent manera en funció del numero de Reynolds:

- $Re < 2000$ , equació de Hagen-Poiseuille per a règim laminar:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{A1.5})$$

- $2000 < Re < 4000$ , interpolació cúbica del àbac de Moody en la zona de crítica,
- $Re > 4000$ , aproximació de Swamee i Jain de l'equació de Colebrook-White:

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{\varepsilon}{3,7 \cdot d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (\text{A1.6})$$

És a dir, el factor de fricció depèn de la rugositat,  $\varepsilon$  (característica del material de la canonada) i del numero de Reynolds,  $Re$ . El numero de Reynolds es defineix com:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (\text{A1.7})$$

on  $\rho$  es la densitat del fluid,  $v$  la velocitat,  $d$  el diàmetre de la canonada,  $\mu$  la viscositat dinàmica del fluid i  $\nu$  la viscositat cinemàtica que es defineix com:  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

Per tant calculant el coeficient de resistència per Darcy-Weisbach es té en compte les característiques constructives de la canonada (longitud i diàmetre), les característiques del material (rugositat) i les característiques del fluid per una determinada velocitat i diàmetre (mitjançant el  $Re$ ). De manera que es una formula apta per qualsevol fluid.

### A1.3 Fórmula de Hazen-Williams

El coeficient de resistència de Hazen-Williams es defineix com:

$$A_{HW} = 10,719 \cdot C^{-1,852} \cdot d^{-4,871} \cdot L \quad (\text{A1.8})$$



On  $d$  es el diàmetre,  $L$  la longitud i  $C$  el coeficient de rugositat de Hazen-Williams (adimensional). En funció del cabal:

$$h_L = 10,719 \cdot C^{-1,852} \cdot d^{-4,871} \cdot L \cdot q^{1,852} \quad (\text{A1.9})$$

#### A1.4 Relació entre el factor de fricció de Darcy-Weisbach i la constant $C$ de Hazen-Williams

La formula de Hazen-Williams és una equació empírica vàlida per un determinat rang de valors de numero de Reynolds i rugositat relativa, per la qual cosa utilitzar aquesta formula sense saber les limitacions que té pot proporcionar valors incorrectes o poc exactes (6).

La relació existent entre el factor de fricció  $f$  i la constant  $C$  es descriu a partir de la següent expressió:

$$f = \frac{133,84}{C^{1,85} \cdot R^{0,148} \cdot D^{0,0185} \cdot \nu^{0,1481}} \quad (\text{A1.10})$$

La formula de Hazen-Williams només és vàlida per aigua, per tant com que la viscositat de l'aigua,  $\nu$ , és  $1,133 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , la relació anterior es pot representar com:

$$f = \frac{0,201 \cdot (100/C)^{1,85}}{R^{0,148} \cdot D^{0,0185}} = \frac{K}{R^{0,148}} \quad (\text{A1.11})$$

$$K = \frac{0,201 \cdot (100/C)^{1,85}}{D^{0,0185}} \quad (\text{A1.12})$$

Les expressions anteriors mostren la naturalesa de l'equació de Hazen-Williams, la qual es una relació exponencial entre el factor de fricció  $f$ , el numero de Reynolds i una constant  $K$  per una determinada canonada de diàmetre  $D$  i constant de Hazen-Williams  $C$ .

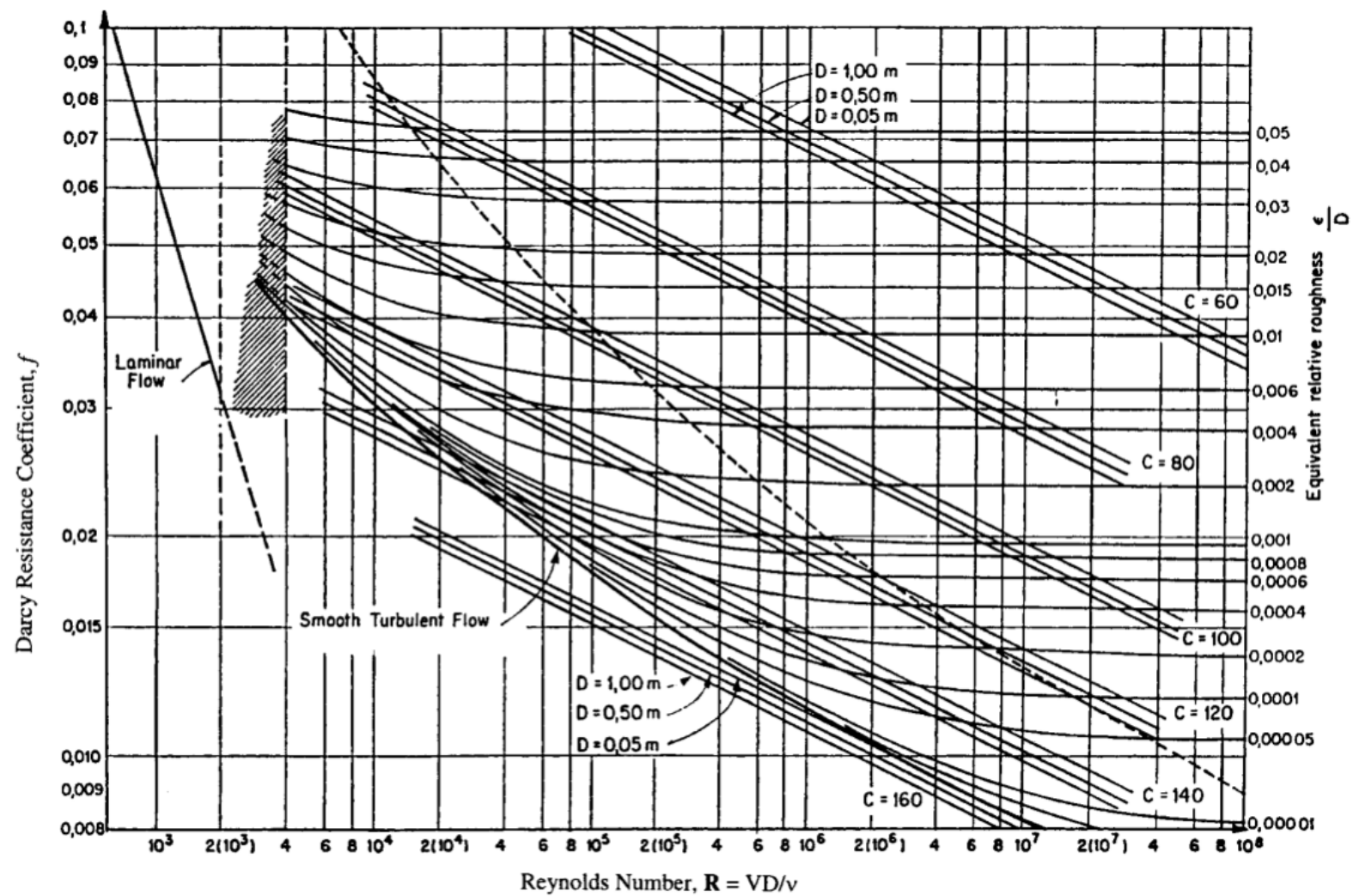
Representant sobre el diagrama de Moody la relació entre el factor de fricció  $f$  i la constant  $C$ , tal com va fer Diskin (1960), es pot observar clarament la seua relació.

A partir del diagrama de Moody de la pàgina següent podem extreure les següents conclusions:

1. Les rectes inclinades representen el factor de fricció en funció del Reynolds per una determinada constant  $C$  i diàmetre de la canonada, ambdós constants. Aquest factor de fricció representa aquell amb el qual s'obtenen

les mateixes pèrdues de càrregues que si apliquéssim la formula de Darcy-Weisbach.

2. Les línies inclinades amb les quals és representa la formula de Hazen-Williams indiquen l'origen empíric de l'expressió en fluxos que es troben entre el règim laminar i el règim turbulent completament desenvolupat. La formula dona resultats vàlids en un determinat rang de Reynolds i valors de C que fan que les línies inclinades siguin més o menys paral·leles a les corbes de la rugositat relativa.
3. Com més petita és la rugositat relativa més ens apropem a la corba de canonada llissa en un determinat rang de numero de Reynolds, a més a més, si augmentem la constant C la recta de la formula de Hazen-Williams també s'hi aproxima, ja que és on realment té sentit aplicar-la, és a dir, amb Reynolds de 4000 a  $10^5$ . Per tant, no s'hauria d'aplicar HW per canonades amb una rugositat relativa alta o utilitzant una constant C més petita de 100.
4. En la formula de Hazen-Williams la constant C depèn únicament del material i de la edat, és a dir, és constant per a qualsevol velocitat (o numero de Reynolds), en altres paraules, no depèn de la velocitat. Aquesta suposició és incorrecta ja que per una determinada canonada de diàmetre D, si suposem constant C, el que verdaderament fem amb la formula de Hazen-Williams és suposar que a mesura que augmenta la velocitat (i el Reynolds) la canonada es fa cada cop més llisa, cosa que no té sentit físic real.



### A1.5 El cas de Sant Joan

A continuació obtindrem el diagrama anterior però dibuixant les corbes d'algunes de les nostres canonades, l'objectiu del qual es comparar-les amb diferents rectes que representen el factor de fricció definit amb Hazen-Williams.

Primer pas: Calcular les rugositat relatives

En l'arxiu *SantJoan\_original.inp* hi ha definides les rugositat absolutes i els diàmetres de cada una de les canonades, de manera que podem calcular la rugositat relativa:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{D} \quad (\text{A1.13})$$

En el nostre cas representarem les següents rugositat relatives:

$\varepsilon_r$ [m]	
3,500E-05	2,147E-03
1,000E-04	4,375E-03
5,000E-04	6,250E-03
8,000E-04	8,333E-03
1,140E-03	

*Taula 7: Rugositats relatives*

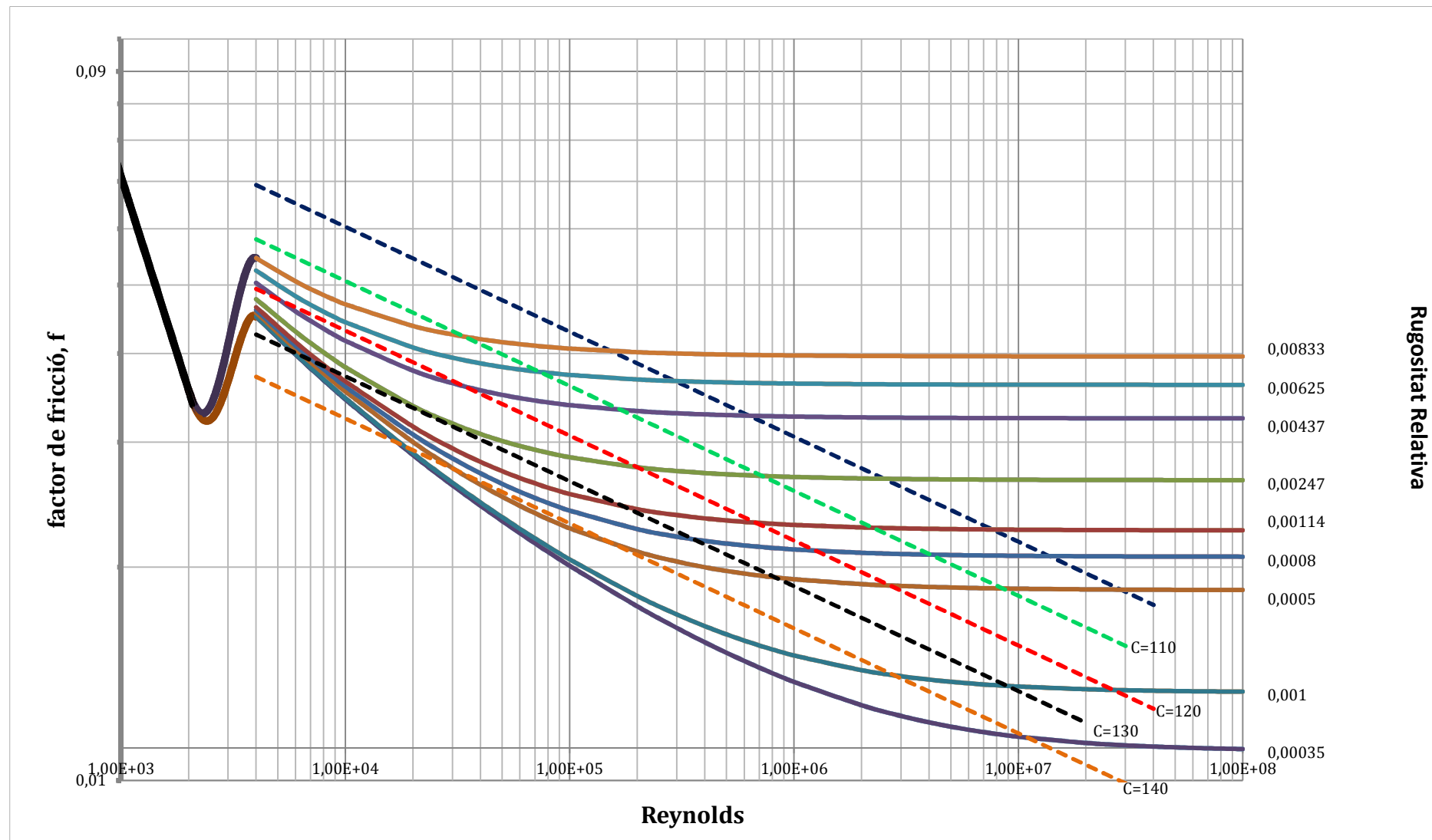
Segon pas: calcular les corbes de cada una de les canonades

Mitjançant el mateix procediment de càlcul que utilitza l'Epanet per determinar el coeficient de fricció de Darcy-Weisbach podem representar gràficament el diagrama de Moody per algunes de les rugositat relatives que se'ns presenta en el nostre cas.

Tercer pas: calcular les rectes que relacionen el factor de fricció i la constant C

Per fer-ho utilitzarem les fórmules definides en l'apartat 5.

A continuació es mostra la representació en el diagrama de Moody.



Podem observar que algunes de les línies inclinades pot representar correctament algunes de les corbes de rugositat relativa en l'interval d'aplicació de Hazen-Williams (entre 4000 i  $10^5$  Reynolds). Per exemple, d'una forma gràfica podem concloure, en el nostre cas, les següents relacions:

C	Rugositat relativa
140	Inferiors a 0,0008
130	0,0008-0,00247
120	0,00274-0,00833

*Taula 8: Rugositats relatives*

Com a conclusió s'aconsella utilitzar la fórmula de Darcy-Weisbach si es tenen les dades necessàries, ja que dona més exactitud als càlculs, sobretot en Reynolds elevats o baixos, que es dona en situacions on la velocitat de l'aigua és elevada o baixa respectivament.

## A2. Dades dels cabalímetres i nivells de dipòsits

El primer pas per analitzar les dades és identificar els factors que afecten a l'error de la mesura. A més a més de la incertesa que pot provocar la pròpia precisió de l'aparell, existeixen altres factors que poden provocar errors com un mal funcionament de l'aparell de mesura, una mala instal·lació o una posició inadequada, soroll elèctric, una variació de secció del conductor, etc.

Alguns d'aquests errors són la causa del soroll que s'introdueixen en la variable mesurada, que cal eliminar abans d'introduir-les com a variables de la simulació.

En la mesura del cabalímetre de Sant Joan es veu una corba de cabal típica del consum d'un nucli urbà. L'error de les mesures introdueix un soroll (corba blava) que cal eliminar per obtenir una corba suau (corba roja), de manera que no afecti a càlculs posterior.

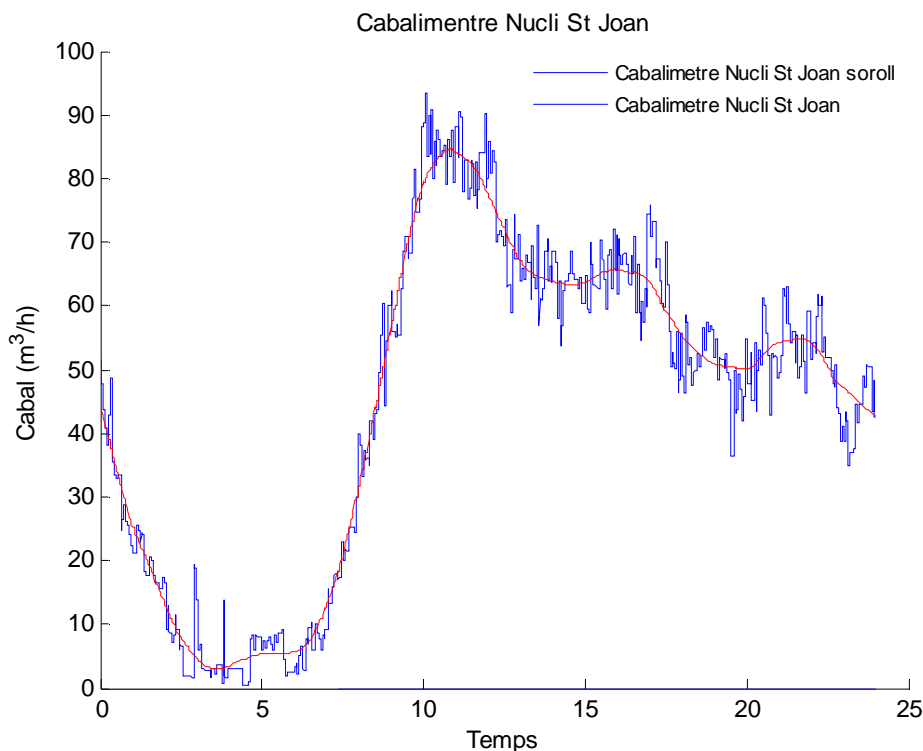


figura 51

Cabalímetre del nucli de Sant Joan

Aquest soroll pot resultar crític si el cabal que es mesura es proper a zero, cosa que distorsiona molt la tendència de la corba i inclús pot originar demandes negatives.

Un altre tipus d'error és l'offset que s'aprecia en la demanda d'Aigua Elevada. Apareix quan la bomba es posa en funcionament. Com que el consum d'Aigua Elevada és la resta entre el cabal de Costar-rodona i la demanda del dipòsit d'Aigua Elevada es pot concloure que és un error provocat pel cabalímetre de les bombes de Costar-rodona que mesura menys cabal del que realment passa. Aquest offset es pot veure en la figura 18 .

Un altre tipus d'error que també provoca soroll, però no es culpa directament del sensor, és el fet que les mesures de tota la xarxa no s'obtenen en el mateix instant de temps, és a dir, no estan sincronitzades. Això significa que si en un instant de temps determinat,  $t$ , un dipòsit es comença a buidar i es mesura el seu nivell, i en un instant  $t+\Delta t$ , es mesura el cabal de sortida significa que durant aquest interval de temps entre mesures un sensor havia detectat que el dipòsit es buidava mentre que l'altre no. Aquest fenomen afecta al càlcul dels consums dels sector introduint soroll que ha de ser eliminat avanç de simular.

## A2.1 Dades cabalímetres

En el capítol 4 s'enumeren els elements de mesura (cabalímetres i nivell de dipòsits) que hi ha a la xarxa dels quals s'obtenen les dades de partida. En la figura 3 es pot veure la situació de cada un d'aquest elements.

A continuació es mostren les dades del dia que se'n disposen més (3 setembre 2011). El model hidràulic i totes les dades dels cabalímetres i dels dipòsits ha estat proporcionant per Aigües de Manresa.

cabalímetre	nº mesures
nucli St Joan	441
entrada dipòsit St Joan	287
sortida dipòsit St Joan	286
Lledoners	115
bombes sortida Costarrodona	50
sortida dipòsit Mollet	113

*Taula 9: Nombre de mesures en els cabalímetres*



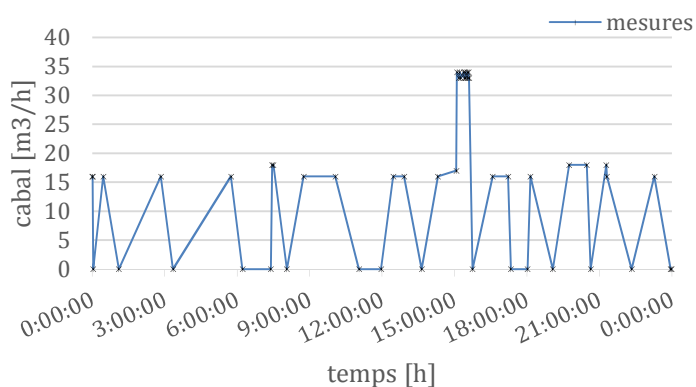


figura 52 Cabal bombes de Costa-rodona (sortida del dipòsit)

El cabal de les bombes s'estudia amb més detall el punt 7.1 on és justifica la modificació les dades del cabalímetre ja que les mesures es consideren que contenen un error.

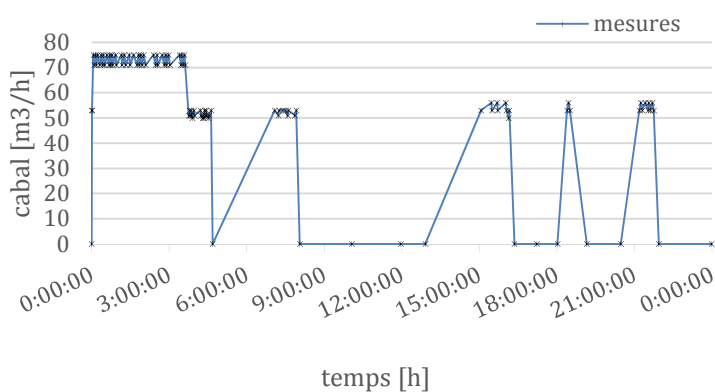


figura 53 Cabal sortida dipòsit Mollet

Aquest cabal correspon al de la bomba de la sortida del dipòsit. Les mesures es produeixen normalment quan la bomba està en funcionament.

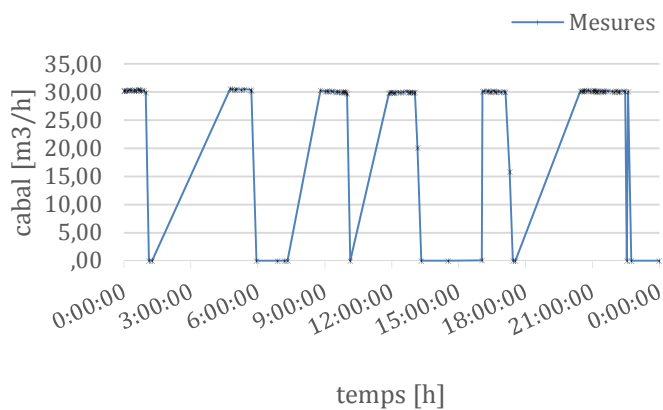


figura 54 Cabal Lledoners

El cabal de Lledoners correspon al de la bomba que alimenta aquest sector.

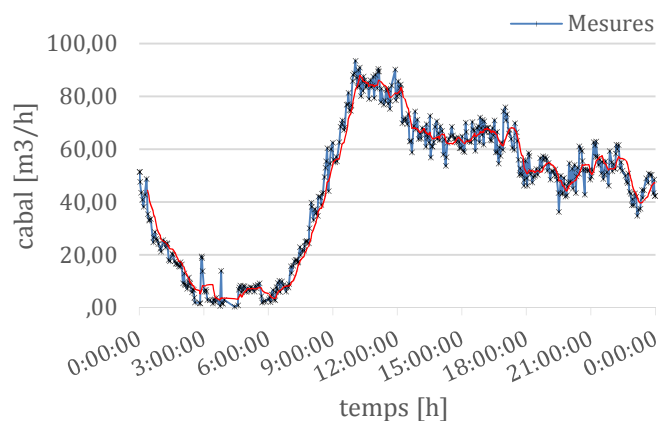


figura 55 Cabalímetre nucli St. Joan

El cabalímetre de St. Joan té un gran nombre de mesures mesurades en intervals petits i irregulars.

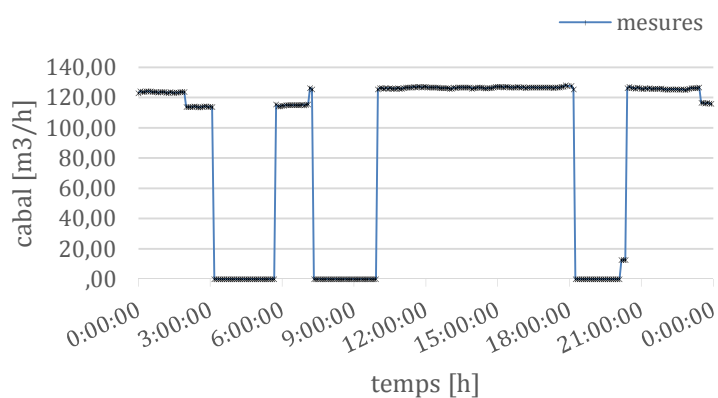


figura 56 Cabal entrada dipòsit St. Joan

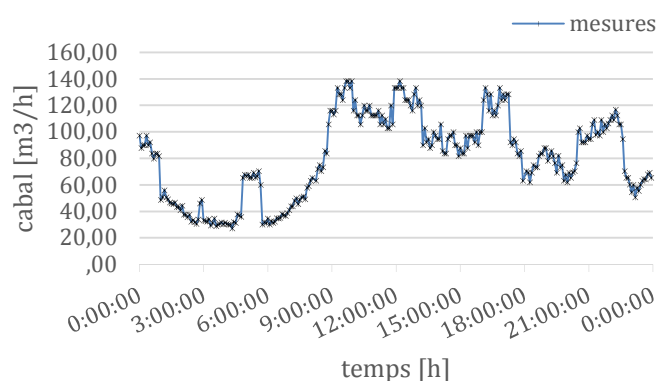


figura 57 Cabal sortida dipòsit St. Joan

En els cabalímetres de l'entrada i la sortida dels dipòsits de St. Joan és disposen d'un gran nombre de mesures realitzades en intervals de 5 minuts. Les pujades sobtades de cabal a la sortida són produïdes per la bomba que alimenta Lledoners.

Pel que fa els cabalímetre manuals disposem de mesures mensuals, que s'expressen com m<sup>3</sup>/dia, per tant suposem que es una mitjana diària del consum total del més.

<b>cabalímetre/més</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Av. Pirelli [m3/dia]	10 6	11 2	11 2	10 8	10 2	0	32 2	38 7	38 6	39 2	38 9	38 9
Pla Vinyats[m3/dia]	12 1	14 4	12 8	13 7	15 4	12 3	23 6	18 0	22 3	18 6	18 9	18 9

Taula 10: Dades mensuals expressades en m<sup>3</sup>/dia dels cabalímetre mensuals

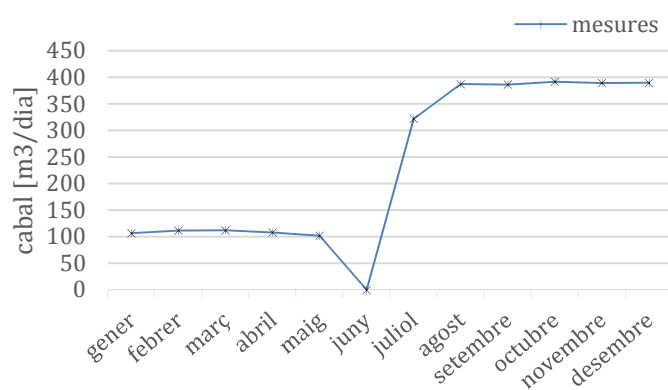


figura 58

Cabalímetre Av. Pirelli

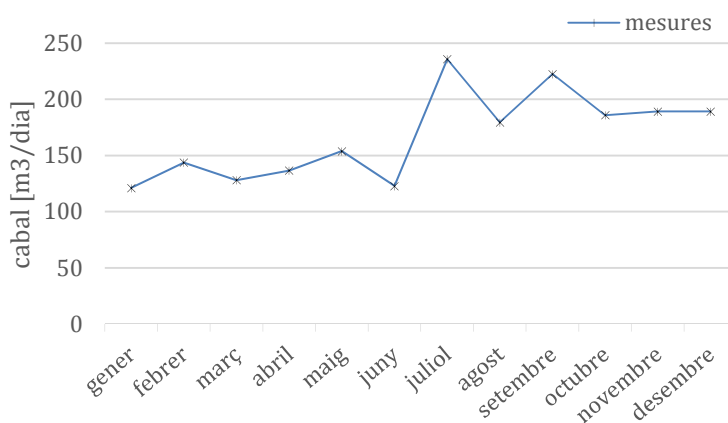


figura 59

Cabalímetre Pla de Vinyats

## A2.2 Dades dipòsits

Pel que fa als dipòsits tenim les següents mesures:

dipòsit	nº mesures
Costarrodona	40
Aigua Elevada	272
Sant Joan 1	49
Sant Joan 2	59
Mollet	198

*Taula 11: Nombre de mesures en els dipòsits*

Les dades de nivell d'aigua de cada dipòsit es troben en tant per cent, de manera que cal passar-les a metres mitjançant l'altura màxima de cada dipòsit i la superfície.

Una altra dada important que s'obté a partir dels nivells i la geometria del dipòsit, és la demanda. És important perquè s'utilitza per calcular els consums de cada un dels sectors.

Per tant la demanda de cada dipòsit a partir del nivell s'obté com:

$$D = \frac{\Delta h}{\Delta t} \cdot \frac{S \cdot H}{100} \quad (\text{A2.14})$$

On:

D: demanda del dipòsit [m³/h]

h: nivell instantani en tant per cent

S: superfície del dipòsit [m²]

H: altura màxima del dipòsit [m]

t: temps en que es produeix una mesura [h]

La demanda dels dipòsits també es la relació entre el cabal d'entrada menys el de sortida:

$$D = Q_e - Q_s \quad (\text{A2.15})$$

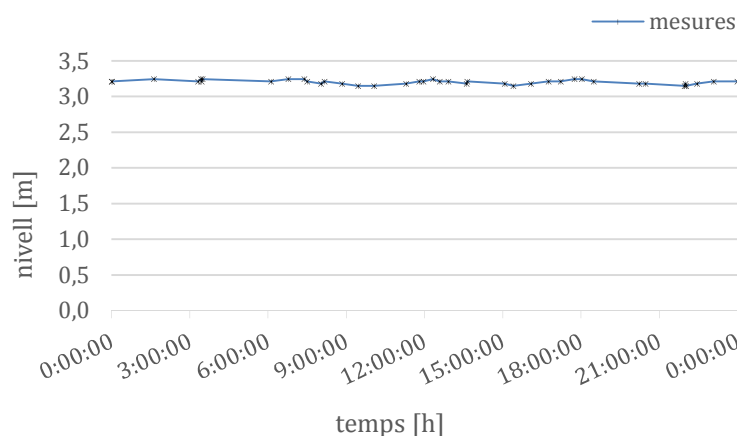


figura 60 *Nivell dipòsit Costa-rodona*

Del dipòsit de Costa-rodona tenim poques mesures. De les mesures que es disposen totes indiquen que el dipòsit està pràcticament ple sense variacions importants. Els intervals de mesura són irregulars amb un mitja de 37 minuts amb una dispersió de més de mitja h, es a dir que entre algunes mesures hi ha períodes de temps llargs (de mitja hora fins a més de 2 h) i entre algunes curts( menys de 5 minuts).

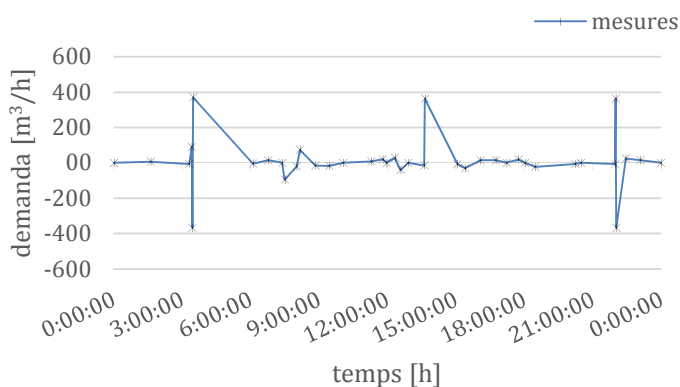


figura 61 *Demanda dipòsit Costa-rodona*

Els pics que s'observen a la gràfica són conseqüència d'intervals de temps entre mesures molt petits, en els quals el nivell del dipòsit a variat.

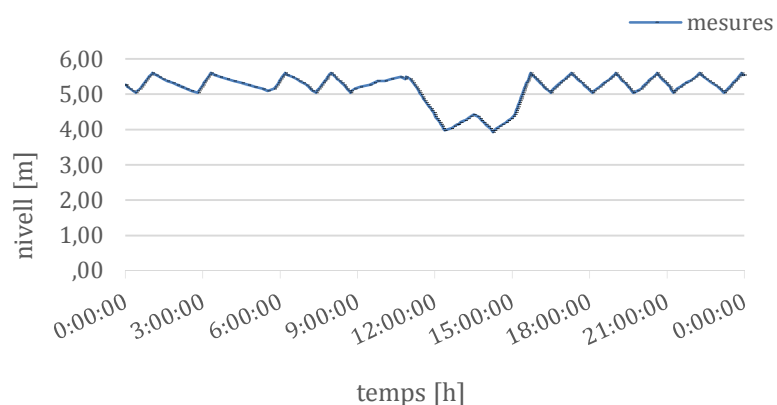


figura 62 *Nivell Aigua Elevada*

Al dipòsit d'Aigua Elevada s'han realitzat una gran quantitat de mesures que tenen intervals irregulars de pocs minuts amb una dispersió baixa.

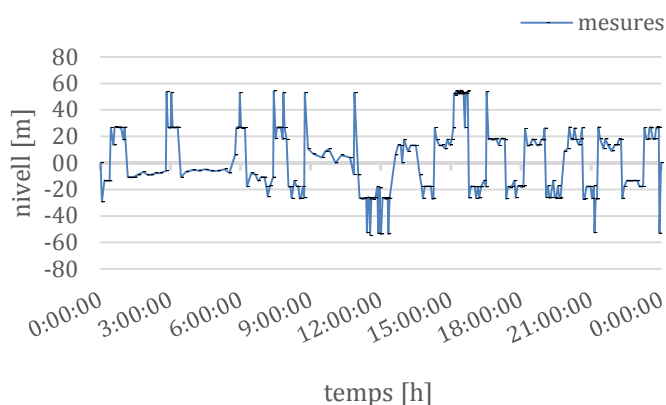


figura 63 *Demanda dipòsit Aigua Elevada*

Respecte la demanda tenim un cas similar al de Costa-rodona, les variacions de nivell en intervals de temps petits provoquen augment ràpids de demanda.

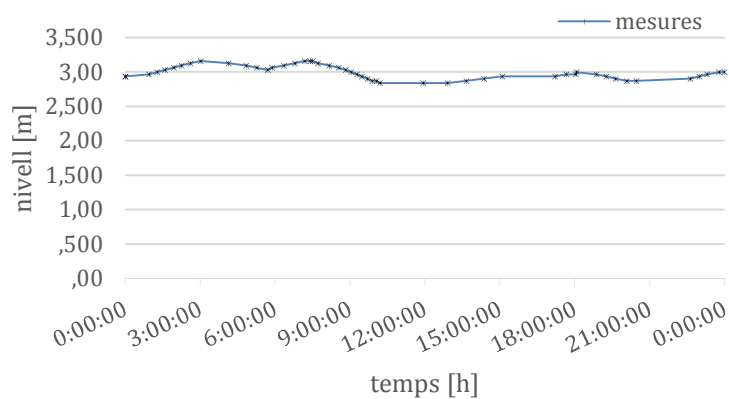


figura 64 *Nivell dipòsit St. Joan 1*

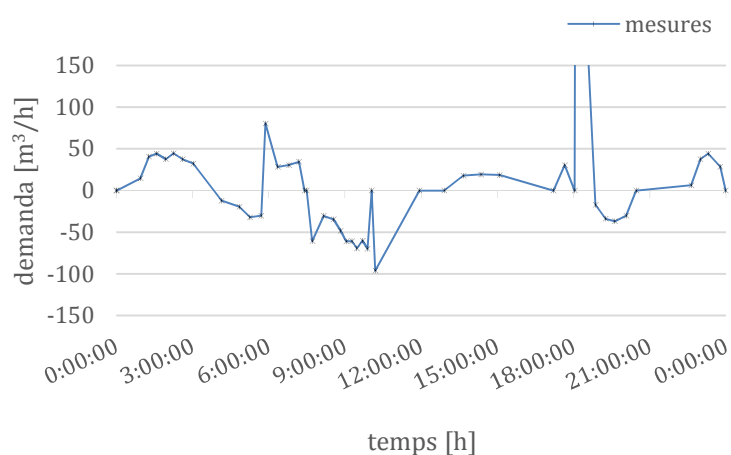


figura 65

Demanda dipòsit St. Joan 1

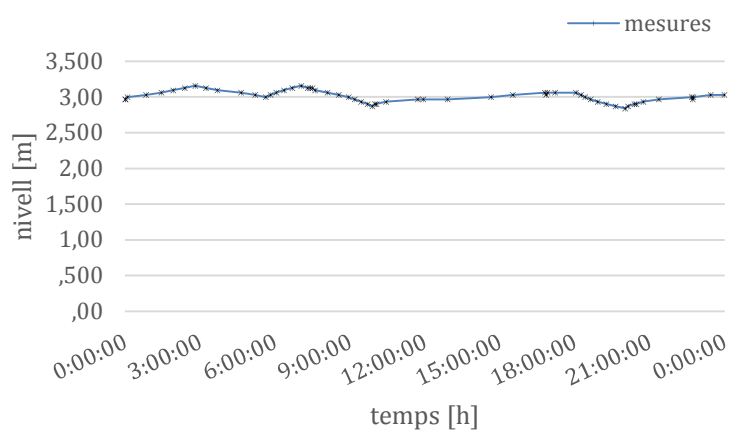


figura 66

Nivell dipòsit St. Joan 2

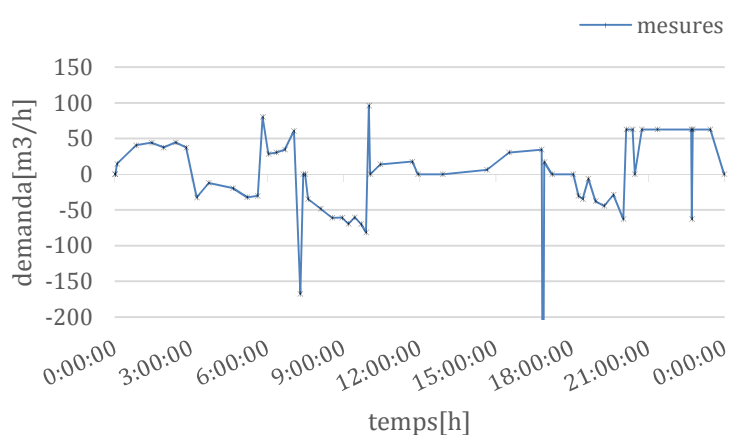


figura 67

Demanda dipòsit St. Joan 2

Les mesures dels dipòsits de St. Joan no estan realitzades en el mateix instant de temps, per tant, per tractar-los com un sol dipòsit cal estudiar-los més a fons.

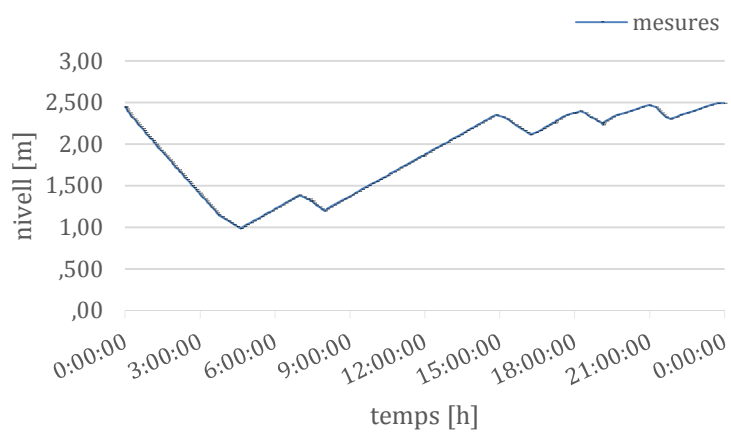


figura 68

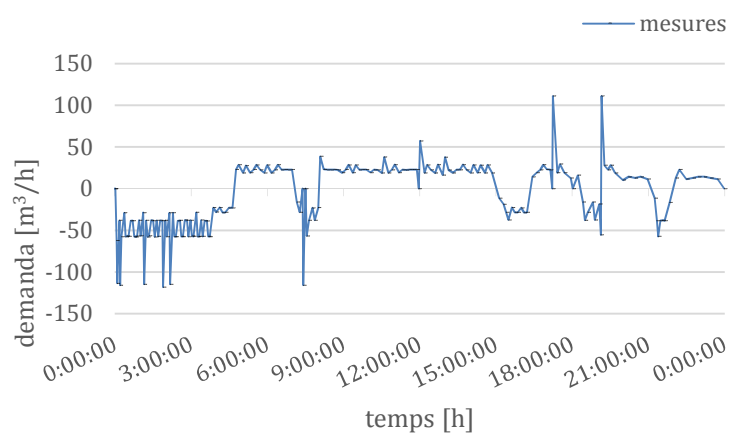
*Nivell dipòsit Mollet*

figura 69

*Demanda dipòsit Mollet*

Al dipòsit de Mollet s'han realitzat moltes mesures amb intervals de temps petit i irregulars (d'entre un i 10 minuts).